

ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE FLORIANÓPOLIS

Thaís Forest Gallina

Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho

Coorientador: Msc. Wanderli Rogério Moreira Leite

2013.1



Thaís Forest Gallina

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DAS ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DE FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho

Coorientador: Msc. Wanderli Rogério
Moreira Leite

Florianópolis
2013

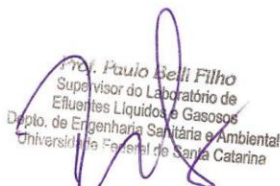
Thaís Forest Gallina

ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE FLORIANÓPOLIS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pela banca examinadora.

Florianópolis, 04 de julho de 2013.

Banca Examinadora:



Prof. Paulo Belli Filho
Supervisor do Laboratório de
Efluentes Líquidos e Gasosos
Dep'to. de Engenharia Sanitária e Ambiental
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Paulo Belli Filho
(Orientador)

Universidade Federal de Santa Catarina

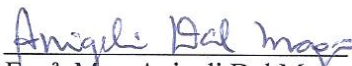


Engº. Msc. Wanderli Rogério Moreira Leite
(Coorientador)

Universidade Federal de Santa Catarina



Dr. Rodrigo de Almeida Mohedano
Universidade Federal de Santa Catarina



Engª. Msc. Anigeli Dal Mago
Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN)

*Dedico este trabalho a minha família
e aos meus amigos, que me apoiaram
e ajudaram a construir minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais e minha irmã, pelo amor e apoio incondicional. Se hoje estou aqui comemorando é graças a vocês, e principalmente por vocês...Vocês são a inspiração da minha vida!

Ao meu namorado, Daniel, por acreditar mais em mim do que eu mesma, e entender minha ausência durante esses seis anos de faculdade.

Às queridas amigas do apartamento 304, Mayara, Grazieli e Taiana, pela consultoria, companhia e conselhos.

Aos colegas de graduação pelos seis anos que compartilhamos, representados por Beatriz, que com tanto carinho leu e corrigiu este trabalho.

Ao Professor Paulo Belli Filho por ter incentivado e orientado este trabalho.

Ao meu coorientador, Wanderli Rogério Leite, pela paciência, disponibilidade e orientação.

À Companhia Catarinense de Águas e Saneamento por ter fornecido os dados essenciais à construção deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que me apoiaram, e que de alguma forma tornaram essa trajetória mais divertida e gratificante.

"Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer".

Mahatma Gandhi

RESUMO

No cenário atual de crescente demanda energética, é intensa a pesquisa e o incentivo ao aproveitamento do biogás resultante da degradação anaeróbia da matéria orgânica, uma fonte de energia renovável. A expectativa deste trabalho é determinar o potencial de produção de biogás, e o consequente potencial elétrico, gerado a partir dos efluentes domésticos tratados em três estações de tratamento de esgoto do município de Florianópolis, operando com reatores anaeróbios do tipo UASB: ETE Barra da Lagoa, ETE Canasvieiras e ETE Lagoa da Conceição. Para tal, foram calculados os volumes teóricos de produção de biogás a partir dos dados de monitoramento, fornecidos pela CASAN, da DQO afluente e efluente das estações. Paralelamente, foram feitas análises *in situ*, da composição e vazão do biogás. A partir desses valores foram calculados os potenciais energéticos atuais de cada unidade, e também foram propostos dois cenários hipotéticos, isto é, se todo o esgoto da população atual e futura (2028) do município de Florianópolis fosse tratado via processo anaeróbio. A soma da produção teórica de biogás das três unidades avaliadas foi de 837,8 Nm³/dia, o equivalente a 78,2 kW de potência instalada. O potencial elétrico estimado é suficiente para suprir em torno de 30% da energia necessária ao funcionamento de cada unidade, representando uma economia total de R\$ 17.000,00 reais por mês para a prestadora de serviço. Concluiu-se que o potencial energético disponível no tratamento de esgoto por via anaeróbia na cidade de Florianópolis é bastante representativo (1,2 MW), a ponto de justificar investimentos nesse sentido em futuras plantas de tratamento. Esta avaliação corrobora os esforços do setor de saneamento que visam reduzir os custos do tratamento, aumentar a oferta de energia renovável e reduzir os impactos ambientais causados pela liberação do gás metano na atmosfera.

Palavras-chave: Biogás, reatores anaeróbios, geração de energia.

ABSTRACT

In the current scenario of rising energy demand, has been intensive the research and incentives to the use of biogas, consequence of the organic matter anaerobic degradation, a source of renewable energy. The expectation of this work is to determine potential biogas production, and the resulting electrical potential generated from domestic effluents treated in three wastewater treatment plants (WWTP) in Florianópolis, operating with anaerobic digester UASB: WWTP Barra da Lagoa, WWTP Ingleses and WWTP Lagoa da Conceição. To this end, it was estimated theoretical volumes of biogas production from the monitoring data provided by CASAN of input and output COD. Parallel analyzes of the quality and flow of biogas was made *in situ*. From these values it was calculated the potential energy production of each sewage treatment plant. Two hypothetical scenarios were also proposed assuming that all the sewage of the current and future (2028) population in the city of Florianópolis were treated through anaerobic process. The total theoretical biogas production of the three units was evaluated in 837.8 Nm³/day, equivalent to 78.2 kW of installed power. The electric estimated potential is sufficient to provide 30% of the average energy required for the operation of each unit, representing a savings of R\$ 17,000.00 for the actual service provider. It was concluded that the potential energy available in anaerobic sewage treatment in the city of Florianópolis (1.2 MW) is representative enough to justify investments in this direction in future treatment plants. This supports the efforts of the sanitation sector in order to reduce treatment costs, increase the supply of renewable energy and reduce the environmental impacts caused by the release of gas methane into the atmosphere.

Keywords: Biogas, anaerobic digester, power generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.	29
Figura 2: Desenho esquemático reator UASB.....	34
Figura 3: Variação do poder calorífico em função da composição do biogás.	37
Figura 4: Mapa de localização de Florianópolis-SC.	45
Figura 5: Dados climatológicos de Florianópolis-SC.	46
Figura 6: Localização das ETEs selecionadas.....	48
Figura 7: Aparelho GEM 2000.....	49
Figura 8: Termo-anemômetro Dwyer 471-2	50
Figura 9: Queimador de gases UASB Canasvieiras.	57
Figura 10: Tubulação de gás UASB Lagoa da Conceição.	58
Figura 11: Separador trifásico com espuma UASB Canasvieiras.	59
Figura 12: Análise calha coletora UASB Lagoa da Conceição.....	60
Figura 13: Saída do queimador de gases UASB Lagoa da Conceição..	61
Figura 14: Eficiência média de remoção da DQO nos reatores UASB das ETEs analisadas.	63
Figura 15: Produção volumétrica teórica de biogás nos reatores UASB das ETEs avaliadas.....	65
Figura 16: Produção específica de biogás nos reatores UASB	65
Figura 17: Variação do potencial elétrico dos reatores UASB por período.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Requisitos ambientais da digestão anaeróbia.	32
Tabela 2: Composição do biogás gerado em reatores anaeróbios, digestores de lodo e aterros sanitários.	36
Tabela 3: Comparação tecnologias para geração de energia a partir do biogás.	39
Tabela 4: Dados operacionais e de desempenho de diferentes trabalhos nacionais.	43
Tabela 5: ETEs existentes no município de Florianópolis por operadora e início operação.	47
Tabela 6: Características das ETEs selecionadas.	48
Tabela 7: Precisão de leitura GEM 2000.	50
Tabela 8: Escala de medição e precisão Dwyer 471-2.	51
Tabela 9: Valores de entrada para cálculo da produção de biogás.	53
Tabela 10: Composição biogás referente aos reatores UASB selecionados.	61
Tabela 11: Síntese DQO afluente e efluente nos reatores UASB avaliados.	62
Tabela 12: Síntese dos resultados de produção teórica de biogás.	66
Tabela 13: Potencial elétrico médio dos reatores UASB avaliados.	67
Tabela 14: Balanço energético das ETEs analisadas.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

CH₄ – Metano

CO₂ – Gás carbônico

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

ETEs – Estações de Tratamento de Esgoto

PCI – Poder Calorífico Inferior

PMISB – Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico

Q – Vazão

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo)

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

USEPA – Agência de Proteção Ambiental Norte Americana

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
2. OBJETIVOS	25
2.1. Objetivo Geral	25
2.2. Objetivos Específicos	25
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
3.1. Tratamento de Esgotos Domésticos	27
3.2. Processo Biológico Anaeróbio no Tratamento de Efluentes	28
3.2.1. Princípios da Digestão Anaeróbia	28
3.2.1.1. Fatores Ambientais	31
3.2.2. Reatores Anaeróbios	32
3.2.2.1. Reator Anaeróbio do tipo UASB	33
3.3.1. Biogás e Energia	36
3.3.2. Tecnologias de Conversão	37
3.3.3. Panorama Aproveitamento Energético do Biogás	40
3.3.4. Mudanças Climáticas	41
4. METODOLOGIA	44
4.1. Caracterização da Pesquisa	44
4.2. Estudo de Caso	44
4.2.1. Estações de Tratamento de Esgoto Seleccionadas	47
4.3. Levantamento de Dados	48
4.3.1. Medidas Qualitativas de Biogás	49
4.3.2. Medidas Quantitativas de Biogás	50
4.4. Estimativa do Potencial de Produção de Biogás	51
4.4.1. Levantamento de Dados	51
4.4.2 Cálculos de Produção de Biogás	51
4.5. Estimativa do Potencial de Produção de Energia	54
4.6. Energia Gerada	55
4.6.1. Cenários de Geração de Energia	55

4.6.2. Análise de Economia e Autossuficiência	56
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1. Volume e Composição Real do Biogás.....	57
5.2. Volume Teórico de Biogás	62
5.3. Potência Energética.....	67
5.4. Possíveis Cenários de Geração de Energia	69
5.5. Balanço Energético	70
5.5.1. Energia Necessária ao Funcionamento da ETE	70
5.5.2. Utilização da Energia Gerada.....	71
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	73
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	75
ANEXO I – DADOS CASAN.....	81
ANEXO II – CONSUMO DE ENERGIA ANO DE 2012.....	84
APÊNCIDE A – RESULTADOS PRODUÇÃO DE BIOGÁS E POTENCIAL ELÉTRICO.....	85

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2010c), apenas 37,9% do esgoto gerado no Brasil é tratado. Apesar dos investimentos nos últimos anos, a situação do saneamento no país continua insatisfatória e muito deve ser feito para suprir essa demanda.

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) têm como função tratar os efluentes a fim reintegrá-los à natureza. Os processos de tratamento dos esgotos são formados por uma série de operações unitárias para a remoção de substâncias indesejáveis, ou para transformação destas substâncias em outras, de forma que sejam menos nocivas ao ambiente.

O processo de tratamento pode ser dividido em quatro níveis, preliminar, primário, secundário e terciário. No tratamento preliminar e primário predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes, diferente do tratamento secundário, no qual predominam os mecanismos biológicos, responsáveis pela remoção da matéria orgânica e de alguns nutrientes (VON SPERLING, 2005).

Atualmente as tecnologias empregadas para o tratamento dos efluentes domésticos são variadas, cada qual com suas vantagens e desvantagens. Essas podem ser divididas em dois grandes grupos segundo a concentração de oxigênio dissolvido no meio: aeróbios e anaeróbios. As quais, dependendo da tecnologia escolhida, podem trabalhar de forma complementar (METCALF & EDDY, 2003).

Os processos aeróbios são mais comuns para o tratamento de efluentes domésticos, porém a aplicação dos processos anaeróbios para esse fim tem aumentado devido à série de vantagens desse processo. Uma das principais vantagens do tratamento por via anaeróbia é a produção de biogás como produto da degradação da matéria orgânica (van HAANDEL, 1994; METCALF & EDDY, 2003).

O biogás possui alto potencial energético e vêm sendo estudado como fonte de energia renovável para fins de geração de energia elétrica, visando à valorização dos efluentes urbanos, a autossuficiência energética das ETEs e consequentemente a redução de custos do sistema de tratamento e redução das emissões de gases de efeito estufa. No Brasil, a ANEEL tem incentivado pesquisas para o desenvolvimento dessas tecnologias.

Nas ETEs, as despesas com energia elétrica são expressivas, representando em média 19,2% dos custos das empresas de saneamento locais. Em todo o país, os gastos com o setor de água e esgoto

representam 2,6% do consumo de total de eletricidade (ZANETTE, 2009). Valores dessa grandeza justificam a procura por alternativas de autossuficiência em energia elétrica. Isto somado a inevitável expansão do sistema de saneamento, que consequentemente acarretará no aumento da carga orgânica disponível para a geração de energia, pode vir a ser fator determinante para escolha da tecnologia de tratamento via processo anaeróbio (BRASIL, 2008).

A região da Grande Florianópolis conta com onze estações de tratamento de esgoto em operação, de médio e grande porte, as quais atendem a necessidade de aproximadamente 51,6% da população urbana. Das onze estações, cinco delas, operadas pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), utilizam reatores anaeróbios (BRASIL, 2010c; FLORIANÓPOLIS, 2010).

Neste contexto, propõe-se um estudo para avaliar o potencial de produção de biogás, para fins de geração de energia elétrica, a partir dos efluentes domésticos tratados com reatores anaeróbios do tipo UASB, na cidade de Florianópolis. Este estudo será baseado no registro de dados de monitoramento da CASAN a partir do ano de 2010, e também em medições *in situ*, referentes à composição e volume de biogás, que servirá como referência para os resultados teóricos deste trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de geração de biogás nas estações de tratamento de esgoto de Florianópolis, para fins de geração de energia elétrica.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar *in situ* a quantidade e composição do biogás produzido nos reatores anaeróbios do tipo UASB das estações de tratamento de esgoto selecionadas;
- Estimar o potencial de geração de biogás a partir da carga orgânica afluente, e das respectivas eficiências, nas estações de tratamento de esgoto selecionadas;
- Estimar o potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás produzido nas estações de tratamento de esgoto selecionadas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

Os sistemas de tratamento de esgoto resumem-se nas tecnologias de controle da poluição das águas residuais. A finalidade destes sistemas é eliminar, antes de lançar ao corpo receptor, os poluentes e patógenos do efluente. O método empregado depende das características físicas, químicas e biológicas do efluente (VON SPERLING, 2005).

O objetivo principal do tratamento de esgoto é corrigir as características indesejáveis, de tal maneira que o uso ou a disposição final possa ocorrer de acordo com as regras e critérios definidos pelas autoridades regulamentadoras (van HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Os esgotos sanitários são as águas residuais de origem doméstica, que indireta ou diretamente, sofreram os impactos do meio e tiveram as sua natureza alterada. O esgoto sanitário pode ser fracionado em sólidos em suspensão, matéria orgânica, nutrientes e organismos patógenos (AVELLAR *et al*, 2002).

Segundo Von Sperling (2005), em cada um dos níveis usuais de tratamento (Preliminar, Primário, Secundário e Terciário) são aplicados diferentes processos físicos, químicos e biológicos. O autor coloca que os mecanismos biológicos de remoção da matéria orgânica e de alguns nutrientes ocorrem principalmente durante o tratamento secundário. Nesta etapa são bastante utilizadas lagoas de estabilização, lodos ativados, disposição no solo, reatores aeróbios com biofilmes e os reatores anaeróbios. A última etapa é o tratamento terciário, normalmente mais específico e em muitos casos dispensável, dependendo da qualidade do efluente e da eficiência proposta para o tratamento.

A classificação dos processos de tratamento biológico pode ser feita em aeróbios ou anaeróbios segundo a concentração de oxigênio dissolvido. A principal vantagem do processo anaeróbio está na degradação do material orgânico, que é acompanhada da produção de biogás, liberado durante o processo de oxidação da matéria orgânica, que vem a ser fonte potencial de energia (van HAANDEL, 1994; METCALF & EDDY, 2003). Este tipo de tratamento proporciona menores gastos de energia, requisitos menores de áreas e redução da produção de lodo, no aeróbio são 97% contra apenas 30% do anaeróbio (van HAANDEL, 1994).

3.2. PROCESSO BIOLÓGICO ANAERÓBIO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

3.2.1. Princípios da Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico complexo, no qual o produto de uma etapa é o substrato de outra. Para que os processos metabólicos da digestão anaeróbia ocorram é necessária que diversos grupos de microrganismos ajam interativamente, até a formação dos produtos finais, metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia, e novas células bacterianas (LOBATO, 2011). A ocorrência desse processo depende de, no mínimo, três grupos fisiológicos de microrganismos, as bactérias acidogênicas, as bactérias acetogênicas e os microrganismos metanogênicos (CHERNICHARO, 2007).

O processo global de conversão anaeróbia pode ser distinguido em quatro etapas de conversão da matéria orgânica: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Figura 1) (CHERNICHARO, 2007).

1. Hidrólise

As bactérias que realizam a fermentação não são capazes de assimilar polímeros complexos. Nesta etapa, o material orgânico particulado (complexo) é convertido em compostos solúveis mais simples que serão então utilizados pelas bactérias fermentativas (METCALF & EDDY, 2003).

Os compostos complexos possuem dimensões inapropriadas para a passagem através da membrana celular. Dessa forma, os microrganismos envolvidos na digestão anaeróbia não conseguem utilizar diretamente esses substratos, é preciso que as enzimas extracelulares convertam esses compostos mais complexos em moléculas pequenas, como por exemplo, aminoácidos e açúcares simples, para que ocorra o metabolismo (PIRES, 2009).

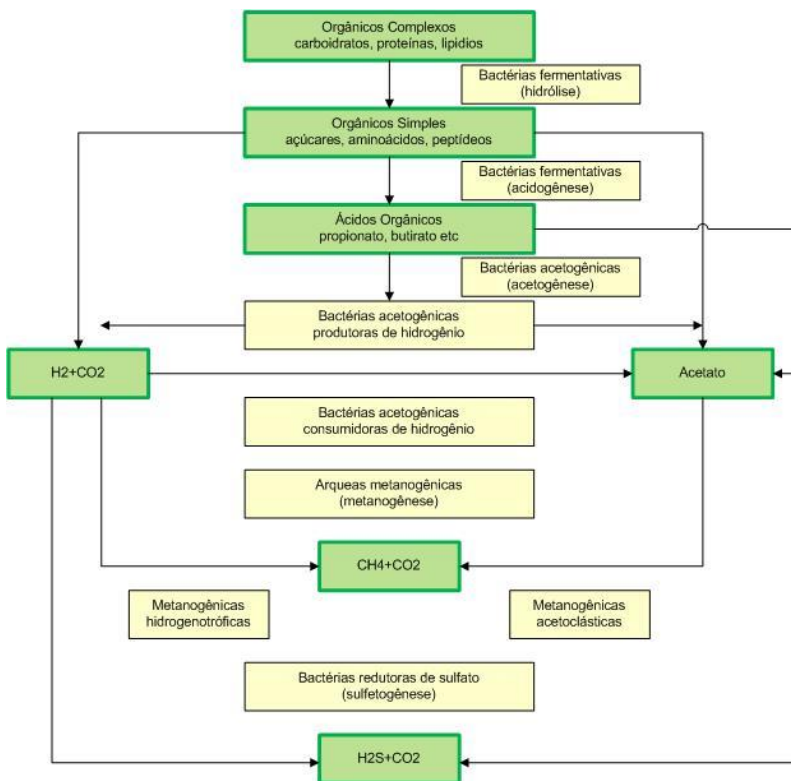


Figura 1: Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

Fonte: Adaptado de CHERNICHARO (2007)

2. Acidogênese

Os compostos solúveis provenientes da hidrólise (açúcares, aminoácidos e ácidos graxos), agora convertidos em compostos mais simples, podem passar pela parede celular das bactérias. Dessa forma, atingem o interior da célula, onde serão metabolizados por processos fermentativos em substâncias orgânicas simples, como os ácidos orgânicos, álcoois, cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio, além de novas células bacterianas (CHERNICHARO, 2007).

A maioria das bactérias acidogênicas é estritamente anaeróbia, no entanto algumas são facultativas e, portanto capazes de metabolizar material orgânico por via oxidativa, o que é muito importante para o processo, visto que nas etapas seguintes o oxigênio dissolvido poderia se tornar uma substância tóxica ao sistema (CAMPOS, 1999).

3. Acetogênese

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos compostos resultantes da acidogênese (compostos orgânicos intermediários) em substratos apropriados aos microrganismos metanogênicos para a produção do metano, como acetato, hidrogênio e dióxido de carbono (CHERNICHARO, 2007).

4. Metanogênese

A etapa final da digestão anaeróbia é metanogênese, nela há a formação do biogás (CH_4 , CO_2 , e outros gases), esta é realizada pelos microrganismos metanogênicos. Esses microrganismos são divididos em dois grupos, as Metanogênicas acetoclásticas e as Metanogênicas hidrogenotróficas, as quais produzem metano a partir da redução do ácido acético e da redução do dióxido de carbono, respectivamente (CHERNICHARO, 2007).

Chernicharo (2007) e van Haandel & Lettinga (1994) descrevem as duas vias de produção de metano da seguinte forma:

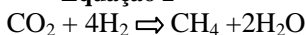
1) Decomposição do ácido acético: Na ausência de hidrogênio, a decomposição do ácido acético leva à formação de metano e gás carbônico. O metano é formado a partir da redução do grupo metil, enquanto que o dióxido de carbono é obtido por meio da oxidação do grupo carboxílico, conforme demonstra a Equação 1.

Equação 1



2) Redução do gás carbônico: Na presença de hidrogênio, grande parte do metano restante é gerada a partir da redução do dióxido de carbono. Neste caso, o CO_2 atua como um acceptor dos átomos de hidrogênio. O dióxido de carbono é abundante no reator a anaeróbio, por isso, sua redução a metano não é o fator limitante no processo. Esse mecanismo de formação do metano é representado pela Equação 2.

Equação 2



Segundo Gerardi (2003), as bactérias Metanogênicas hidrogenotróficas são responsáveis por cerca de 30% do metano formado, o restante (70%) é de responsabilidade das bactérias Metanogênicas acetoclásticas. Estas são importantes no controle do pH,

pois ao removerem o ácido acético, produzem CO_2 que se dissolve no meio formando uma solução tampão de bicarbonatos.

As bactérias metanogênicas hidrogenotróficas, crescem de forma mais acelerada do que aquelas que usam ácido acético, sendo assim, muitas vezes limitam a produção de biogás (van HAANDEL & LETTINGA, 1994).

3.2.1.1. Fatores Ambientais

As reações microbiológicas, e consequentemente a produção de biogás, são bastante influenciadas pelas condições do meio (Tabela 1).

Além disso, os microrganismos fermentativos, responsáveis pela hidrólise e acidogênese, possuem requisitos diferentes dos microrganismos produtores de metano. Esta particularidade permite que o sistema de dois estágios da digestão anaeróbia proporcione condições adequadas a ambos os tipos de microrganismos. Por isso, para um processo ideal de fermentação, esses parâmetros devem ser observados e controlados (DEUBLEIN & STEINHAUSER, 2008).

O pH ótimo para as bactérias metanogênicas está entre 6,5 e 7,2, estes microrganismos são extremamente sensíveis as variações desse parâmetro. Durante a digestão anaeróbia a produção de ácidos orgânicos voláteis tende a diminuir o pH, no entanto esta redução é suavizada por meio da produção de dióxido de carbono, amônia e bicarbonato pelas bactérias metanogênicas (APPELS *et al.*, 2008).

Os microrganismos metanogênicos acetotróficos são mais sensíveis a níveis reduzidos de pH, sua taxa de crescimento é máxima por volta do pH neutro, reduzindo consideravelmente para valores de pH abaixo de 6,6 (CASSINI, 2003).

Alterações nas condições de temperatura ou concentração do substrato são fatores que podem levar à paralisação da produção de biogás. Nestes casos, o fenômeno pode durar por três ou mais semanas, até que ocorra a readaptação do sistema às novas condições, para então o processo de produção de biogás ser retomado (DEUBLEIN & STEINHAUSER, 2008).

Outro fator interferente na produção do metano é a presença de sulfato nas águas residuárias. Observando as rotas metabólicas da digestão anaeróbia (Figura 1) percebe-se que a presença de sulfatos pode ocasionar uma fase denominada de sulfetogênese, na qual ocorre a redução de sulfatos e formação de sulfetos. Nesta situação, muitos dos compostos intermediários ficam comprometidos, provocando uma competição pelos substratos disponíveis entre os microrganismos da

sulfetogênese e as bactérias fermentativas. A redução de sulfatos desfavorece a quantidade de metano produzido, há uma menor disponibilidade de DQO para conversão em CH₄. Assim sendo, o excesso de sulfatos pode prejudicar a produção de metano (CHERNICHARO, 2007).

A Tabela 1 apresenta os principais parâmetros correlacionados ao metabolismo microbiano.

Tabela 1: Requisitos ambientais da digestão anaeróbia.

Parâmetro	Hidrólise/Acidogênese	Formação do Metano
Temperatura (°C)	25 - 35	32 - 42 (Mesofílico) 50 - 58 (Termofílico)
pH	5,2 - 6,3	6,7 - 7,5
Relação C:N	10 - 45	20 - 30
Relação C:N:P:S	500:15:5:3	600:15:5:3
Teor de MS	<40% MS	<30% MS
Potencial Redox	+400 a -300 mV	<-250 mV
Oligo Elementos	Sem requisitos especiais	Essencial: Ni, Co, Mo, Se

Fonte: Adaptado de DEUBLEIN & STEINHAUSER, 2008.

3.2.2. Reatores Anaeróbios

As tecnologias de tratamento de esgoto são em suma a reprodução dos fenômenos que acontecem na natureza. A diferença é que ocorrem em condições controladas, portanto, os resultados desejados são potencializados. Os fenômenos responsáveis pela modificação da matéria podem ser físicos, químicos ou biológicos. Quando há a ocorrência de fenômenos químicos e biológicos em uma unidade controlada da estação este é denominado reator. Os reatores biológicos podem ser aeróbios, onde o processo de degradação da matéria orgânica ocorre na presença de oxigênio, ou anaeróbio, nos quais há ausência de oxigênio livre (CAMPOS, 1999).

O ambiente dos reatores biológicos é propício à degradação da matéria orgânica. A sua capacidade é dependente do metabolismo da biomassa que o incorpora, por isso procura-se incentivar o contato entre esta e o substrato, para que a degradação ocorra de forma facilitada (LIMA, 2005).

No Brasil, os principais tipos de reatores anaeróbios utilizados são as lagoas anaeróbias, os decanto-digestores, os filtros anaeróbios, os reatores anaeróbio de manta de lodo (UASB) e reatores anaeróbios de leito expandido ou fluidificado. Dependendo das características dos efluentes tratados os reatores podem ser unidades únicas da estação ou trabalhar em conjunto com outros tipos (CAMPOS, 1999).

Neste trabalho será abordada a tecnologia anaeróbia via reator UASB, a qual foi observada nas unidades de tratamento em foco neste trabalho.

3.2.2.1. Reator Anaeróbio do tipo UASB

O UASB teve sua origem nos princípios que regulam o funcionamento do filtro anaeróbio, a partir do qual foi desenvolvido e aperfeiçoado pelo Professor Gatzke Lettinga na Holanda (CAMPOS, 1999).

A principal diferença do reator UASB é que o crescimento bacteriano é disperso. A imobilização da biomassa ocorre por adesão dos microrganismos, devido à formação de grânulos ou flocos densos suspensos, os quais possuem boa capacidade de sedimentação (CAMPOS, 1999).

O funcionamento do reator UASB baseia-se no fluxo ascensional do esgoto pelas camadas do reator, o efluente entra pelo fundo, passando pela a zona de digestão (leito e manta de lodo), onde ocorre a digestão anaeróbia, e deixa o reator ao passar pela zona de sedimentação constituída por decantador interno e um separador de sólidos e gases (trifásico). Esta configuração possibilita maior tempo de residência dos sólidos no reator favorecendo o crescimento da massa densa de lodo, apesar do pequeno tempo de retenção hidráulico (CHERNICHARO, 2007).

Unidades de tratamento anaeróbio do tipo UASB são fundamentalmente voltadas à remoção da matéria orgânica, em suspensão ou dissolvida. Apresentam uma variação gradual entre zonas densas e dispersas de lodo, nas quais ocorre a estabilização da matéria (LOBATO, 2011).

A biomassa de elevado metabolismo desenvolvida nos reatores UASB é uma de suas principais características. A qualidade da biomassa começa a ser definida desde a partida do reator, processo que pode durar até seis meses, e que é determinante no processo de seleção do lodo. O lodo mais leve e de menor qualidade é arrastado para fora do sistema, via separador trifásico, e o lodo mais pesado e de melhor qualidade fica

retido no fundo do reator. Acima deste, se forma a manta de lodo, zona de crescimento bacteriano disperso, que devido ao movimento ascendente das bolhas de biogás e pelo próprio fluxo do efluente, sofre constante homogeneização (CHERNICHARO, 2007).

O esquema do processo desse tratamento pode ser visualizado na Figura 2.

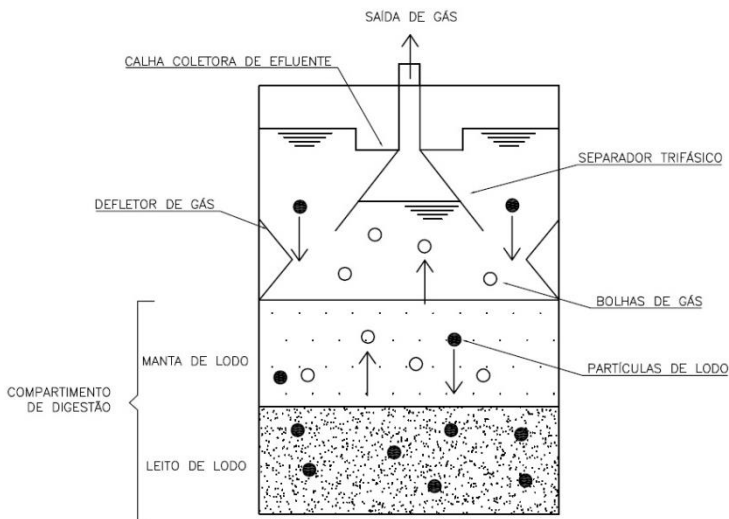


Figura 2: Desenho esquemático reator UASB.

Fonte: Adaptado Chernicharo, 2007.

Segundo Campos (1999), é a configuração singular do UASB, que permite o desenvolvimento de uma grande quantidade de biomassa ativa densa de elevado tempo de retenção celular e o adequado contato biomassa-esgoto, fator que justifica a sua vasta aceitação para o tratamento anaeróbio de águas residuais.

Como todos os reatores, o UASB tem algumas vantagens e desvantagens. A simplicidade e baixos custos de projeto, implantação, operação e manutenção, assim como baixos requisitos de áreas são aspectos positivos do reator. Destaca-se também a eficiência da remoção de DBO e DQO, na ordem de 65% a 75%, e o baixo consumo de energia. No entanto, a baixa capacidade de tolerar cargas tóxicas, o elevado intervalo de tempo necessário para a partida do sistema (4 a 6 meses), a possibilidade de maus odores, e principalmente a necessidade de uma etapa de pós-tratamento são pontos negativos atribuídos a este tipo de reator (CHERNICHARO, 2007).

3.3. Biogás

O Biogás é definido como um gás natural proveniente da fermentação anaeróbia da matéria orgânica (MARTINS & ASSIS, 2007).

Segundo Pecora (2009), a produção de biogás é possível a partir de uma grande variedade de resíduos orgânicos como resíduos sólidos urbanos, resíduos de atividades agrícolas e pecuárias, suinocultura, lodo de esgoto, entre outros.

Costa (2006) ressalta que o biogás é composto por uma mistura de componentes gasosos, sendo os principais o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), e o restante composto por vestígios de hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2) e sulfureto de hidrogênio (H_2S), entre outros.

Segundo esse mesmo autor, a produção de biogás a partir dos esgotos domésticos depende da composição dos resíduos, quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração. Também influenciam na geração do biogás algumas características do processo como o ambiente anaeróbio, a umidade, o pH (entre 6,8 e 7,2) e a temperatura (entre 32°C e 35°C), fundamental para as bactérias Arqueas metanogênicas (COSTA, 2006).

Existem alguns métodos para se estimar a produção teórica de biogás. Chernicharo (2007) propõe avaliar a produção por meio da carga de DQO afluente ao reator, a qual é convertida em gás metano.

Jordão e Pessoa (2011), por sua vez, referem-se a outras duas formas para quantificar a produção de biogás. Em uma delas é preciso conhecer os valores de sólidos totais e voláteis afluentes ao digestor, assim como a porcentagem de sólidos voláteis destruídos na digestão, e adotar o volume de gás produzido por Kg de sólidos voláteis destruídos, os quais variam da ordem de 0,8 a 1,1 m^3/kgSV . A outra forma de avaliação citada por esse considera o contingente populacional atendido e aplica coeficientes relatados na literatura, os quais estão na ordem de 151L de biogás por habitante por dia, para reatores tipo UASB.

A Tabela 2 apresenta os intervalos típicos dos vários gases presentes no biogás resultante de diferentes sistemas anaeróbios.

Tabela 2: Composição do biogás gerado em reatores anaeróbios, digestores de lodo e aterros sanitários.

Gases	Concentração no Biogás (%)		
	Reatores Anaeróbios	Digestores de Lodo	Aterro Sanitário
Metano (CH ₄)	60 a 85	60 a 70	45 a 50
Dióxido de Carbono (CO ₂)	5 a 15	20 a 40	30 a 45
Nitrogênio (N ₂)	10 a 25	0 a 15	< 2
Hidrogênio (H ₂)	0 a 3	Traços a >1	-
Gás Sulfídrico (H ₂ S)*	1000 a 2000	Até 1000	1000 a 2000

(*)Unidade: ppmv

Fonte: Adaptado de RANDS et al.(1981); NOYOLA et al. (1988); AGRAWAL et al. (1997); BOHN (2001) apud BELLI et al (2001); PAGLIUSO et al. (2002); BARBOSA e STUETZ (2005); USEPA (2005); NOYOLA et al. (2006); RASI et al. (2007); apud LOBATO (2011).

3.3.1. Biogás e Energia

De acordo com os estudos realizados pela Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (USEPA, 2011) o biogás produzido nos digestores anaeróbios é viável como combustível para a geração de eletricidade e de calor.

A energia liberada pela queima de uma unidade de volume de um gás define o poder calorífico desse (JORDÃO & PESSOA, 2011). No caso do biogás, a energia disponível está diretamente relacionada com a quantidade de metano existente na mistura gasosa, o restante dos componentes influencia direta e indiretamente (MONTE, 2010).

O metano em condições normais de pressão e temperatura possui poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m³. Dessa forma, o biogás com um teor de metano entre 50 e 80% terá um poder calorífico inferior entre 4,95 e 7,92 kWh/m³ (COLDEBELLA, 2008).

A Figura 3 ilustra o comportamento do PCI do biogás de acordo com a variação na concentração de metano.

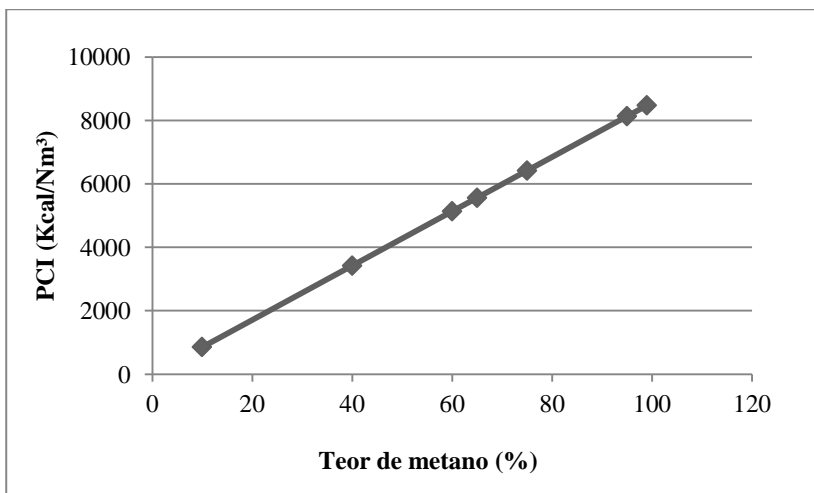


Figura 3: Variação do poder calorífico em função da composição do biogás.
 Fonte: Adaptado de AVELLAR, 2001 apud COSTA, 2006.

3.3.2. Tecnologias de Conversão

Dependendo do fim desejado para o gás, técnicas diferentes de gerenciamento podem ser aplicadas. No caso da combustão direta, sem recuperação de energia, são necessários apenas queimadores de gás que garantem o controle de odores, a segurança da ETE e respeito a questões ambientais. Quando se opta pela combustão direta, com geração de calor, é preciso utilizar caldeiras e secadores térmicos, os quais podem ser aplicados no tratamento térmico do lodo das ETEs. Ainda, considerando a geração combinado ou simples de eletricidade e calor são necessários motores de combustão interna, turbinas ou microturbinas (LOBATO, 2011).

A opção por realizar ou não o aproveitamento do biogás está vinculada as características do tratamento, no mínimo é preciso que a fase anaeróbia esteja incluída, e que o volume de esgoto tratado e a DBO sejam suficientes para alimentar um grupo gerador (COELHO *et al.*, 2006).

Se a alternativa para o aproveitamento do biogás for à forma de energia elétrica, é preciso que motores realizem a conversão da energia química em energia mecânica, e geradores de corrente alternada convertam a energia mecânica em energia elétrica (MONTE, 2010).

Para este fim alguns motores primários podem ser utilizados, os tipos mais comuns são motores de ciclo Otto, células de combustível,

turbina a gás e microturbinas. Estas são mais versáteis para ETEs de pequeno porte e podem apresentar eficiências melhores em sistemas de cogeração (USEPA, 2011).

Com relação à tecnologia de microturbinas, uma das vantagens é a maior flexibilidade operacional, permitindo a geração de energia em pequena escala (LOBATO, 2011). Além disso, destaca-se o ganho ambiental referente à emissão de NO_x, se comparado aos motores de ciclo Otto. Porém, o alto custo deste equipamento e a necessidade de tratamento e compressão do gás, tornam essa tecnologia desfavorável economicamente (COELHO *et al.*, 2006).

Na avaliação comparativa entre o processo de conversão de biogás em energia via microturbina e motor de ciclo Otto, realizada pelo projeto Energ-Biog – SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, em Barueri / SP, os resultados indicaram algumas desvantagens para a microturbina. Entre elas pode se citar o maior consumo de biogás por kWh gerado e maior custo global de geração (COSTA, 2006).

Os Motores de ciclo Otto ou Diesel tem como uma de suas principais aplicações geração de energia elétrica pelo acoplamento ao motor de um gerador elétrico. O volume ocupado pelo reservatório de biogás ou o custo para a redução do volume do mesmo, são desvantagens desta tecnologia (ALVES, 2000). Como vantagem aponta-se a partida rápida, confiabilidade, elevada potencial de recuperação de calor e custo inferior ao de outras tecnologias (USEPA, 2003b).

As turbinas a gás são usualmente aplicadas a sistemas de recuperação de energia com capacidade acima de 3.000 kW. São sistemas mais caros que os motores de combustão interna, pois necessitam de tratamento para o gás e compressores. Porém, são sistemas confiáveis, de tamanho compacto e de fácil operação (USEPA, 2003a).

A Tabela 3 faz uma comparação entre as principais tecnologias aplicáveis ao aproveitamento energético do biogás e suas vantagens e desvantagens.

Tabela 3: Comparação tecnologias para geração de energia a partir do biogás.

Tecnologia	Potência Instalada	Rendimento Elétrico	Vantagens	Desvantagens
Motor de Combustão Interna (Ciclo Otto)	30 kW-20 MW	30% - 40%	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia de uso comum; • Rápida instalação; • Modularidade do sistema; • Diversidade de fornecedores de equipamentos; • Eficiência em carga total e parcial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamento do compressor de biogás.
Turbina a gás	500 kW-150 MW (Médio Porte)	20% - 30%	<ul style="list-style-type: none"> • Sem formação de condensados; • Confiabilidade mecânica; • Combustão completa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto investimento inicial; • Sensibilidade a partículas e impurezas; • Baixa eficiência dada à energia parasitária de compressor e perda de calor nos gases de exaustão.
Microturbinas	30 kW-100 kW (Pequeno Porte)	24% - 28%	<ul style="list-style-type: none"> • Modularidade; • Alta confiabilidade mecânica; • Facilidade de interconexão com redes de distribuição. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa potência disponibilizada; • Baixo rendimento; • Necessidade de tratamento do biogás; • Alta pressão mínima de entrada do biogás; • Carência de fornecedores.

Fonte: Adaptado de MMA, 2005 apud GARCIA, 2006; CENBIO, 2003 apud COSTA, 2006.

É importante observar que segundo o exposto por Coelho *et al.* (2006) para que haja viabilidade do aproveitamento do biogás em plantas de tratamento de esgoto é preciso que o volume produzido seja suficiente para alimentar um sistema de 30 kW, os menores grupos gerados do mercado, por 24 horas por dia.

3.3.3. Panorama Aproveitamento Energético do Biogás

A utilização do biogás produzido em plantas de tratamento de esgoto é uma tendência mundial. Nos Estados Unidos, muitos estudos têm sido feitos mostrando os benefícios da aplicação de sistemas de geração combinada de calor e eletricidade (CHP - Heat and Power System). O relatório divulgado pela USEPA (2011) expõe que 104 ETEs do país utilizam sistemas de geração combinada de calor e energia em suas plantas, o que representa 190 MW de capacidade instalada.

Na Europa, no ano de 2005 foram produzidos 4,7 milhões Mtoe (Million Tons of Oil Equivalent) de biogás, respectivamente 14,6 TWh de energia. Os principais produtores de biogás são o Reino Unido, Itália e Espanha, principalmente a partir de aterros sanitários. Porém, o país que tem maior aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica é a Alemanha. Apesar da grande produção, o potencial de geração de biogás nas ETEs ainda não é amplamente explorado. O biogás na maioria das vezes é diretamente queimado em flares ou em alguns casos é utilizado em caldeiras (BRUNO *et al.*, 2009 apud LOBATO, 2011).

No Brasil, a pesquisa tendo como pauta o aproveitamento da biomassa para fins de geração de energia elétrica tem sido bastante incentivada. A ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, realizou em julho de 2012 uma chamada para o projeto estratégico de P&D "Arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração de energia elétrica a partir do biogás oriundo de resíduos e efluentes líquidos na matriz energética brasileira". Este projeto tem como objetivo não somente diversificar a matriz energética e aumentar a segurança do abastecimento, como também incentivar o tratamento de resíduos e efluentes líquidos.

Este mesmo órgão em abril de 2012 publicou a Resolução Normativa nº482, regulamentando a micro e mini produção de energia. Segundo esta norma, o consumidor poderá instalar um sistema de geração de energia de fonte renovável e conectá-lo a rede de distribuição, de forma que a energia gerada e não consumida no local possa ser integrada ao sistema, gerando créditos para o consumidor na

próxima fatura. Com esta norma o governo viabilizou a produção de energia em pequena escala, incentivando este tipo de prática com o intuito de aumentar a oferta de energia explorando as fontes renováveis. É a demonstração de que o país está investindo no desenvolvimento dessas tecnologias.

A SABESP tem alguns estudos em cinco das suas maiores unidades. Na ETE Barueri, a maior em capacidade do estado de São Paulo, o volume de esgoto tratado é de 7,5 m³/s, atende uma população de 3,0 milhões de habitantes, e a produção média de biogás é de 24.000 m³/dia (via digestão anaeróbia do lodo) (SÃO PAULO, 2001).

A ETE Arrudas, gerenciada pela COPASA, na região de Sabará-MG é outro exemplo de projeto de aproveitamento do biogás em ETE no Brasil. Esta unidade é a maior da região metropolitana de Belo Horizonte, trata atualmente cerca de 1,30 m³/s, e segundo estimativas é capaz de garantir uma potência instalada de 2,4 MW (MINAS GERAIS, 2012). O sistema de tratamento desta unidade é via lodos ativados, e a geração do biogás ocorre por meio da digestão anaeróbia do lodo (LIMA, 2005).

Apesar das inúmeras vantagens do uso do biogás e da sua popularidade em muitos países, para que essa prática seja consolidada alguns desafios devem ser superados. A carência de tecnologias nacionais de geração de energia via biogás, os elevados custos dos equipamentos e a falta de garantia do bom funcionamento das unidades de aproveitamento podem ser citados como fatores limitantes do uso do biogás (SALOMON e LORA, 2009 apud LOBATO, 2011).

Tanto no Brasil, como em outros países, há diversas pesquisas relacionadas com a produção de biogás em processos de digestão anaeróbia envolvendo efluentes domésticos. Na Tabela 4 são apresentados alguns desses trabalhos.

3.3.4. Mudanças Climáticas

O lançamento de gases de efeito estufa na atmosfera resultantes da atividade humana, já não é mais uma prática aceitável. Hoje em dia são de conhecimento geral os malefícios causados pela emissão desses gases.

O biogás, devido a alta concentração de metano presente em sua composição, é bastante nocivo à atmosfera. Portanto, recomenda-se que seja feita a queima ou reaproveitamento desses, a fim de evitar os impactos negativos inerentes ao meio ambiente e à sociedade (PECORA et al., 2008).

O chamado agravamento do "efeito estufa" tem sido alvo de contínuas discussões entre países, como as que ocorrem no âmbito do Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC). Segundo esta instituição, a maior parte do aquecimento global percebido nos últimos 50 anos é devido a um aumento dos gases de "efeito estufa" emitidos na atmosfera (JORDÃO & PESSOA, 2009).

Neste contexto, evidencia-se a importância desse trabalho, que suporta uma alternativa enriquecedora para a destinação, e consequente reaproveitamento, do biogás gerado nos reatores anaeróbios responsáveis pelo tratamento dos esgotos domésticos urbanos produzidos no município de Florianópolis.

Tabela 4: Dados operacionais e de desempenho de diferentes trabalhos nacionais.

ETE	Fonte	Local	População (hab.)	Q (m³/s)	Biogás (m³/dia)	Taxa GB*	PE*** (kW)	Referência
Barueri	Digestão Lodo	Barueri/SP	3.000.000	7,50	24000	37	2200	Costa (2006); Lima (2005)
Suzano	Digestão Lodo	Suzano/SP	-	0,70	3000	50	-	Costa (2006)
ABC	Digestão Lodo	São Paulo/SP	-	1,40	1200	10	-	Costa (2006)
Madre de Deus	UASB	Madre de Deus/BA	28.932	0,05	461	117	37	Santos (2009)
Arrudas	Digestão Lodo	Belo Horizonte/MG	500.000	1,30	8000	71	725	Lima (2005)
Santana	UASB	Varginha/MG	60.000	0,10	1250	148	100	Lima (2005)
Ipatinga	UASB	Ipatinga/MG	140.000	0,16	2845	205	240	Lima (2005)
Piçarrão	UASB	Campinas/SP	249.093	0,56	4800	100	-	Lima (2005)
Onça	UASB	Belo Horizonte/MG	910.000	2,00	17200	100	1450	Lima (2005)
Rio Preto	UASB	São José do Rio Preto/SP	438.000	0,94	7800**	96	-	SEMAE (2011)

*Taxa média de geração de biogás (m³ biogás/1000 m³ esgoto tratado).

** (Nm³/dia).

*** Potencial elétrico (kW).

4. METODOLOGIA

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho foi composto por duas etapas. O primeiro momento consistiu na revisão bibliográfica, que contemplou a produção de efluentes domésticos, a caracterização do processo biológico anaeróbio e a geração e composição do biogás produzido em reatores anaeróbios. O segundo consistiu em um estudo de caso das estações de tratamento de esgoto de Florianópolis operando com sistemas anaeróbios do tipo UASB. Nestas plantas foi avaliado o potencial de produção de biogás, teórico e real, e na sequência a determinação do potencial energético.

4.2. ESTUDO DE CASO

A cidade de Florianópolis é a capital do estado de Santa Catarina (Figura 4). Está localizada no sul do Brasil e possui a particularidade de estar parte em território insular e parte em território continental. A região da grande Florianópolis abrange nove municípios (Lei Complementar Estadual Nº 495/2010), entre eles São José, Palhoça e Biguaçu.

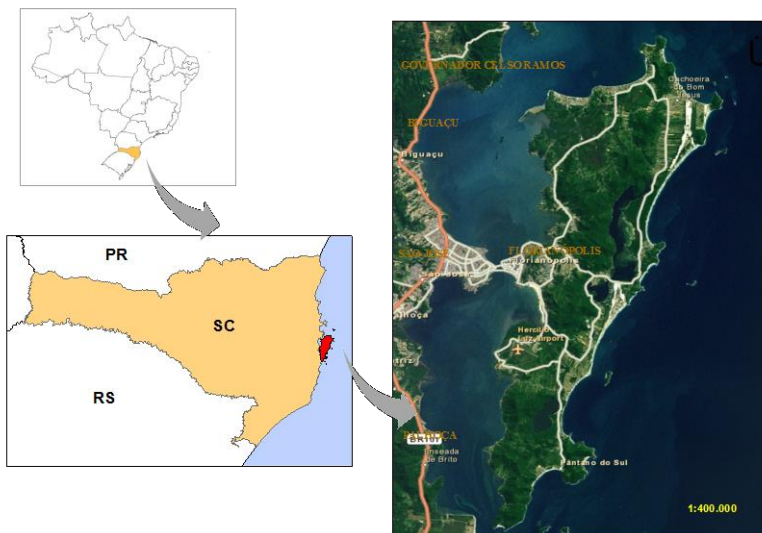


Figura 4: Mapa de localização de Florianópolis-SC.

Fonte: O autor; Google Earth, 2012.

Possui clima subtropical úmido, segundo classificação climática de Koppen, o qual se caracteriza por um clima mesotérmico, com estação de verão e inverno bem definidas, e ocorrência de chuvas em todos os meses do ano. Em conjunto com as 42 praias existentes, o clima de verão quente contribui para que a cidade de Florianópolis tenha intenso movimento turístico durante essa temporada. As variações de temperatura durante o ano podem ser visualizadas na Figura 5.

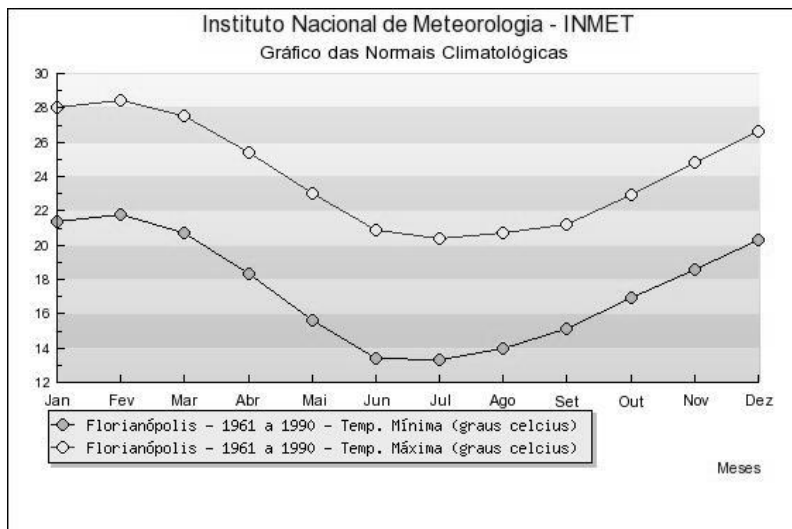


Figura 5: Dados climatológicos de Florianópolis-SC.

Fonte: INMET, 2011

Esta região tem sofrido nos últimos anos movimento migratório intenso. Atualmente a sua população é de 421.240 (BRASIL, 2010a), porém, a expectativa sugerida por Campanário (2007), é que a população residente na cidade de Florianópolis para o ano de 2028 seja de 735.411 habitantes, o que resulta em um aumento populacional superior a 70%.

Com relação à infraestrutura de saneamento, entre as cidades de São José e Florianópolis há onze estações de tratamento de esgoto em operação, das quais nove são operadas pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), atendendo pouco mais de 50% da população urbana (BRASIL, 2010c).

A Tabela 5 traz algumas informações sobre as nove estações de tratamento de esgoto.

Tabela 5: ETEs existentes no município de Florianópolis por operadora e início operação.

Nº	Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)	Operadora	Início Operação
01	ETE Florianópolis Continente (Potecas)	CASAN	1994
02	ETE Florianópolis Insular	CASAN	1997
03	ETE Lagoa da Conceição	CASAN	1988
04	ETE Barra da Lagoa	CASAN	2006
05	ETE Canasvieiras	CASAN	1995
06	ETE Saco Grande	CASAN	2006
07	ETE Praia Brava	CASAN	1997
08	ETE PARQTEC	CASAN	1996
09	ETE Vila União	CASAN	2000
10	ETE Jurerê Internacional	HABITASUL	1981
11	ETE Base Aérea de Florianópolis	INFRAERO	1982

Fonte: FLORIANÓPOLIS, 2010.

4.2.1. Estações de Tratamento de Esgoto Seleccionadas

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) consideradas para este trabalho são aquelas que apresentam uma etapa anaeróbia no processo de tratamento de esgoto, especificamente com reator UASB.

As ETEs que se enquadram nesse critério, e que possuíam pelo menos um ano de dados disponíveis, possibilitando traçar uma tendência anual, foram: ETE Barra da Lagoa, ETE Canasvieiras e a ETE Lagoa da Conceição.

Segundo o estudo realizado para a elaboração do Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico (PMISB) do município de Florianópolis e observações feitas *in situ*, as três ETEs seleccionadas possuem as seguintes características (Tabela 6):

Tabela 6: Características das ETEs selecionadas.

ETE	População atendida (hab.)	Q _{operação} (L/s)	Tratamento Secundário
Barra da Lagoa	5.164	34	Reator UASB e Lodos Ativados.
Canasvieiras	23.051	73	Reator UASB e Valos de Oxidação.
Lagoa da Conceição	8.955	24	Reator UASB e Valos de Oxidação.

Fonte: SANTA CATARINA, 2013.

A Figura 6 mostra a localização das ETEs selecionadas para estudo.

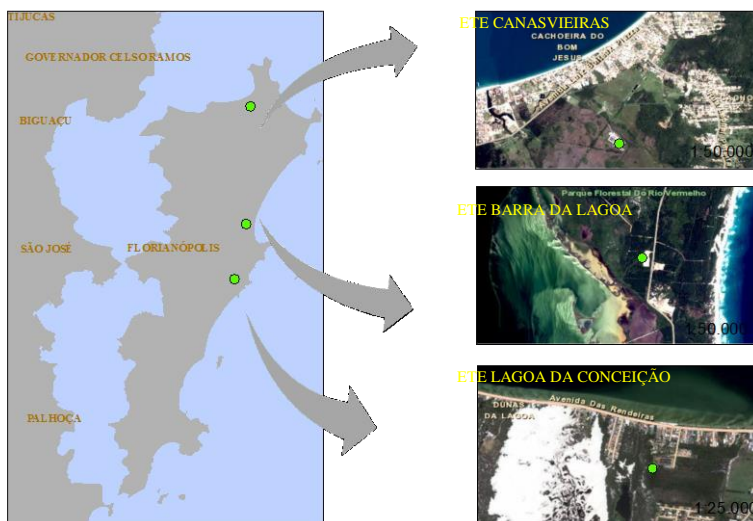


Figura 6: Localização das ETEs selecionadas.

Fonte: O autor; Google Earth, 2012..

4.3. LEVANTAMENTO DE DADOS

Com o intuito de validar os resultados teóricos obtidos a partir dos dados de monitoramento do esgoto, foram realizadas análises *in situ* da composição e volume do biogás gerado nos reatores UASB da ETE Lagoa da Conceição e da ETE Canasvieiras. Estas duas ETEs foram

Tabela 7: Precisão de leitura GEM 2000.

Precisão do gás	CH ₄	CO ₂	O ₂
0-5%	±0,3%	±0,3%	±1,0%
5-15%	±1,0%	±1,0%	±1,0%
15% - Escala completa	±3,0%	±3,0%	±1,0%

Fonte: O autor.

4.3.2. Medidas Quantitativas de Biogás

O conhecimento do volume de biogás gerado em um reator anaeróbio é uma forma de validar os dados obtidos pela conversão teórica, que se baseia em considerações químicas e equacionamentos matemáticos, e assim aproximar o estudo da realidade da realidade do processo biológico.

Para conhecer o volume de biogás produzido nos reatores UASB das ETEs foi medida a vazão do mesmo utilizando o termo-anemômetro digital da empresa Dwyer, modelo 471-2, aparelho portátil que detecta os parâmetros através de um sensor de fio quente. O aparelho mede velocidade e temperatura. A análise foi feita utilizando um método descontínuo de análise, para períodos de horas, que seria extrapolado para valores diários.



Figura 8: Termo-anemômetro Dwyer 471-2

Fonte: O autor.

A Tabela 8 apresenta a escala de medição e a precisão do aparelho.

Tabela 8: Escala de medição e precisão Dwyer 471-2.

Parâmetro	Faixa de medição	Erro
Velocidade (m/s)	0 a 70	+3 a +-5%
Temperatura (°C)	-17 a 100	+/- 1

Fonte: O autor.

4.4. ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

4.4.1. Levantamento de Dados

A análise do potencial de produção de biogás foi baseada nos dados e informações de monitoramento do esgoto das ETEs selecionadas. O período de dados considerado foi de no mínimo um ano, iniciando em 2010 para as ETE Barra da Lagoa e Lagoa da Conceição, e em 2012 para a ETE Canasvieiras. Esses dados foram fornecidos pela companhia responsável, a CASAN.

O período de dados da DQO de entrada e saída do reator UASB disponível para cada uma das três ETEs selecionadas era divergente. Dessa forma, estas foram avaliadas separadamente quanto à produção de biogás e consequente produção de energia. A tabela contendo os dados disponibilizados encontra-se no (ANEXO-I).

Para análise dos dados foi utilizado o software Microsoft Excel, através do qual foram elaborados tabelas e gráficos que expressaram os resultados em relação às diferentes ETEs.

Para o tratamento dos dados foram excluídos aqueles valores da série que aparentemente apresentavam erro (valores extremos e/ou *outliers*) e poderiam prejudicar a determinação do valor médio. Esta consideração foi realizada, por exemplo, para os dados cujo valor de DQO efluente é superior a DQO afluente, ou onde existia o dado de entrada, mas não o de saída equivalente, impossibilitando fazer qualquer análise sobre o desempenho do reator anaeróbio das ETEs.

4.4.2 Cálculos de Produção de Biogás

Existem algumas metodologias e fatores empíricos para a estimativa de produção de metano em reatores anaeróbios, variando em nível de especificidade, muitas de acordo com o tipo de matéria orgânica contida no efluente tratado (DOMINGUES, 2010).

Segundo Chernicharo (2007), a parcela de DQO afluente convertida em gás metano pode ser determinada com a Equação 3.

Equação 3

$$DQO_{CH_4} = Q \times (S_0 - S) - Y_{obs} \times Q \times S_0$$

Onde:

DQO_{CH_4} : Carga de DQO Convertida em metano (kgDQOCH₄/dia)

Q : Vazão de esgoto afluyente (m³/dia)

S_0 : Concentração de DQO afluyente (kgDQO/m³)

S : Concentração de DQO efluente (kgDQO/m³)

Y_{obs} : Coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23 kgDQOolodo/kgDQOapl)

A massa de DQO convertida a metano pode ser transformada em produção volumétrica, isto é volume de CH₄, conforme se verifica nas Equações 4 e 5.

Equação 4

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(t)}$$

Onde:

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m³/dia)

$f(t)$: Fator de correção da temperatura operacional do reator (kgDQO/m³)

Equação 5

$$f(t) = \frac{P \times K_{DQO}}{R \times (273 + T)}$$

Onde:

P : Pressão atmosférica (1 atm)

K_{DQO} : DQO correspondente a 1 mol de CH₄ (64 gDQO/mol)

R : Constante dos gases (0,08206 atm.L/mol. °K)

T : temperatura operacional do reator (°C)

Obtida a produção teórica de metano pode-se estimar a produção de biogás no sistema (Equação 6). Os teores de metano no biogás gerado

pela degradação biológica de efluentes domésticos são da ordem de 70% a 80% (CHERNICHARO, 2007).

Equação 6

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}}$$

Onde:

$Q_{biogás}$: Produção volumétrica de biogás (m³/dia)

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m³/dia)

C_{CH_4} : Concentração de metano no biogás (%)

Os valores de entrada para o cálculo da produção de biogás podem variar por uma série de fatores inerentes a cada caso estudado, como localização, clima e características funcionais do reator. Para este trabalho foram utilizados os valores conforme a Tabela 9.

Tabela 9: Valores de entrada para cálculo da produção de biogás

ETE	Ano	Q (m ³ /dia)	T (°C)	C_{CH_4} (%)	Y_{obs} (KgDQO _{lodo} /kgDQO _{apl})
Barra da Lagoa	2011	3110,4	21	75	0,15
	2012	2678,4			
	Média	2894,4			
Canasvieiras	2012	6307,2	21	75	0,15
Lagoa da Conceição	2011	2160,0	21	75	0,15
	2012	1987,2			
	Média	2073,6			

Fonte: SANTA CATARINA, 2013; CHERNICHARO, 2007.

As vazões médias de esgoto afluente para o ano de 2010 não estavam disponíveis. Portanto, para a análise dos dados referentes a este ano foi utilizada a média das vazões do ano de 2011 e 2012.

Considerou-se para a DQO afluente (S_0) e DQO efluente (S) os valores registrados no Relatório de Monitoramento do Laboratório de Análises Físico-químicas e Hidrobiológicas de cada ETE, considerando o período respectivamente disponível.

O teor de metano presente biogás foi considerado como 75% baseado nas indicações de Chernicharo (2007) para efluentes domésticos. No entanto, entende-se que este valor pode estar superestimado, pois em outros trabalhos onde houve a análise do biogás gerado os percentuais encontrados têm sido inferiores.

A eficiência de degradação da matéria orgânica nos reatores UASB das ETEs estudadas foi calculada a partir dos valores DQO de entrada e saída, registrados nos relatórios de monitoramento da CASAN, conforme a Equação .

Equação 7

$$E = 1 - \frac{S}{S_0}$$

Onde:

E: Eficiência da conversão da DQO em metano (%)

S: DQO efluente (mg/L)

*S*₀: DQO afluente (mg/L)

4.5. ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

O volume de biogás recuperado no sistema anaeróbio de tratamento pode ser convertido em energia elétrica. Estimado o volume de biogás gerado, e adotando-se ou conhecendo-se um valor para o teor de metano encontrado no biogás das estações, é possível calcular a energia bruta produzida.

O poder calorífico inferior (PCI) utilizado para cálculo do potencial elétrico considera a variação do poder calorífico do biogás em relação às proporções de CH₄ e CO₂. Neste trabalho, foram seguidas as orientações de Avellar (2001) apud Costa (2006) nas quais um biogás com composição média de 75% de CH₄ apresenta PCI de 6420,60 Kcal/Nm³.

Segundo Costa (2006), o potencial elétrico do biogás, a partir da quantidade de esgoto tratado por dia, pode ser determinado a partir da Equação 8 a seguir.

Equação 8

$$E = \frac{PCI_{biogás} \times Q_{biogás} \times \eta_{gerador} \times 4,1868}{86400}$$

Onde:

E: Energia bruta (kW/dia)

$Q_{biogás}$: Produção volumétrica de biogás (m³/dia)

$PCI_{biogás}$: Poder Calorífico Inferior do biogás (Kcal/m³)

$\eta_{gerador}$: Rendimento elétrico médio da tecnologia escolhida.

4,1868: Fator de conversão de Kcal para KJ

Para se determinar a energia disponível é preciso considerar o rendimento do sistema, o qual é determinado pela escolha da tecnologia de conversão. Apesar das desvantagens da tecnologia de microturbinas, principalmente com relação à carência de fornecedores, esta é indicada para ETEs de pequeno porte, como é o caso deste trabalho. Assim sendo, escolheu-se utilizar esta tecnologia para as estimativas de produção de energia, cuja eficiência adotada convencionalmente para a conversão de biogás em energia elétrica é de 30% (CENBIO, 2003 apud COSTA, 2006).

4.6. ENERGIA GERADA

4.6.1. Cenários de Geração de Energia

A partir dos valores calculados referentes à produção de biogás para os três reatores UASB das ETEs selecionadas, foi possível construir uma taxa média de produção de biogás por m³ de esgoto tratado (Taxa GB). Da mesma forma, conhecendo o volume de esgoto tratado e a respectiva população atendida, foi estabelecida uma taxa média de geração de esgoto por habitante.

Com estas informações, extrapolou-se a produção de energia supondo que toda a população, atual e futura de Florianópolis, fosse atendida via sistema anaeróbio de tratamento de esgoto.

4.6.2. Análise de Economia e Autossuficiência

Com base no consumo energético mensal e anual das ETEs avaliadas, foi calculada a economia estimada para a CASAN proporcionada pela geração de energia nas ETEs.

A determinação da economia foi obtida através do produto do custo médio do kWh (ANEXO-II) pela energia gerada a partir do reator UASB da ETE. As informações utilizadas foram disponibilizadas pela própria companhia de saneamento gerenciadora das estações.

Também foi avaliada a condição de autossuficiência, tanto plenas como percentuais, com base na demanda mensal de energia de cada unidade. Em seguida, foram propostos possíveis usos para a energia gerada, que poderia suprir as necessidades da ETE ou ser reintegrada ao sistema de eletricidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. VOLUME E COMPOSIÇÃO REAL DO BIOGÁS

No dia 04 de abril de 2013 foi realizada uma visita a ETE Lagoa da Conceição e a ETE Canasvieiras. Esta visita ocorreu com o intuito de medir a vazão e concentração de gás na saída do reator UASB. Escolheram-se estas duas unidades, pois apresentaram as maiores vazões de esgoto afluente.

Estas medidas seriam usadas para quantificar e qualificar a produção real de biogás das estações de tratamento de esgoto, e o consequente potencial energético. Estas análises também serviriam de referência para validar os resultados teóricos encontrados no trabalho.

A avaliação quantitativa e qualitativa do biogás deveria ocorrer por uma tubulação instalada entre o separador trifásico e o queimador de gases. No entanto, para os dois reatores avaliados, não foi possível proceder desta forma visto que as tubulações eram desprovidas de saída de gases para monitoramento (Figura 9 e Figura 10).

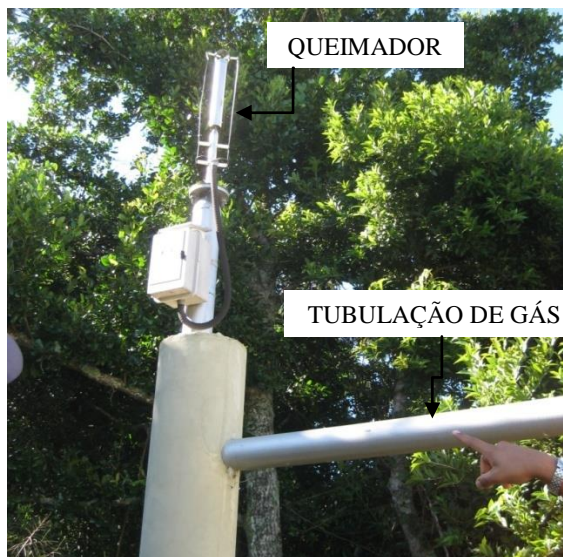


Figura 9: Queimador de gases UASB Canasvieiras.

Fonte: O autor.



Figura 10: Tubulação de gás UASB Lagoa da Conceição.

Fonte: O autor.

Procedeu-se, pois, a avaliação do biogás nos separadores trifásicos. No entanto, não foi possível realizar a avaliação do biogás. Esta dificuldade pode estar associada às características construtivas do reator UASB da ETE Canasvieiras ou por acúmulo de espuma no separador trifásico que prejudica a dispersão e o fluxo de biogás para o queimador, como exemplifica a Figura 11.



Figura 11: Separador trifásico com espuma UASB Canasvieiras.

Fonte: O autor.

Para Chernicharo (2007) a formação de espuma na superfície do decantador e no interior do separador trifásico de reatores UASB é um problema comum. Para evitar a formação de espumas concentradas de difícil remoção o autor recomenda o uso de dispositivos que possibilitem a remoção desse material, como canaletas e tubulações de remoção, além de pontos de inspeção que permitam o acesso ao local.

No UASB da ETE Lagoa da Conceição, a ineficiente vedação das escotilhas de inspeção dos separadores trifásicos, abertas para a realização da medição, facilitou a fuga de gases e prejudicou a formação de gradiente de pressão e consequentemente o fluxo de biogás; desta forma, não foi possível obter medições quantitativas e qualitativas neste ponto de medição.

Foi realizada ainda avaliação qualitativa dos gases presentes na canaleta externa dos reatores UASB das duas estações de tratamento (Figura 12), entretanto não se obteve êxito devido aos fatores anteriormente citados e pelo efeito de diluição do biogás com o ar.



Figura 12: Análise calha coletora UASB Lagoa da Conceição.

Fonte: O autor.

No UASB da ETE Lagoa da Conceição, além das medidas no separador trifásico e calha coletora do efluente também foram feitas medições na saída do queimador (flare), porém os resultados foram igualmente insatisfatórios. A Figura 13 mostra o momento anterior à análise.



Figura 13: Saída do queimador de gases UASB Lagoa da Conceição.

Fonte: O autor.

Os resultados obtidos no quesito qualitativo foram inconclusivos, conforme exposto na Tabela 10, praticamente os mesmos valores encontrados ao ar livre. Já os resultados quantitativos foram nulos, a vazão no local de medição não atingiu o valor mínimo de detecção do aparelho.

Dessa forma, por não representarem realidade do local, estas informações não puderam ser consideradas como parâmetros para os resultados teóricos.

Tabela 10: Composição biogás referente aos reatores UASB selecionados.

ETE	Concentração CH ₄	H ₂ S
Canasvieiras	1,1%	60 ppm
Lagoa da Conceição	2,5%	-

Da mesma forma que neste trabalho, Lima (2005) em seu trabalho sobre a conservação da energia e uso do biogás no tratamento de esgoto, teve dificuldades referentes aos dados de vazão do biogás. Das seis ETES analisadas em seu trabalho, apenas uma disponibilizava

esses dados. Este mesmo autor ressalta que a inexistência de sistemas de medição de vazão de biogás demonstra que até então o interesse das prestadoras de serviço com relação ao aproveitamento energético é incipiente diante de uma possibilidade de reaproveitamento dos subprodutos gerados do tratamento dos efluentes domésticos.

5.2. VOLUME TEÓRICO DE BIOGÁS

Foram analisados os dados de monitoramento fornecidos pela CASAN. A partir destes dados estimou-se o potencial de produção de biogás das unidades de tratamento biológico anaeróbio, selecionadas neste estudo.

A Tabela 11 exibe a síntese das informações fornecidas para análise e a Figura 14 ilustra o desempenho referente à eficiência de degradação da matéria orgânica em cada reator UASB durante o período disponível para estudo.

Tabela 11: Síntese DQO afluente e efluente nos reatores UASB avaliados.

Ano	UASB ETE	DQO Afluente (mg/L)			DQO Efluente (mg/L)		
		Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.
2012	Canasvieiras	246	533	99	83	175	21
	Barra da Lagoa	406	688	267	204	348	63
	Lagoa da Conceição	495	960	246	164	330	92
2011	Canasvieiras	-	-	-	-	-	-
	Barra da Lagoa	592	1252	325	256	431	161
	Lagoa da Conceição	479	704	218	150	240	41
2010	Canasvieiras	-	-	-	-	-	-
	Barra da Lagoa	359	513	198	253	304	168
	Lagoa da Conceição	548	1055	167	109	159	80

Fonte: SANTA CATARINA, 2013.

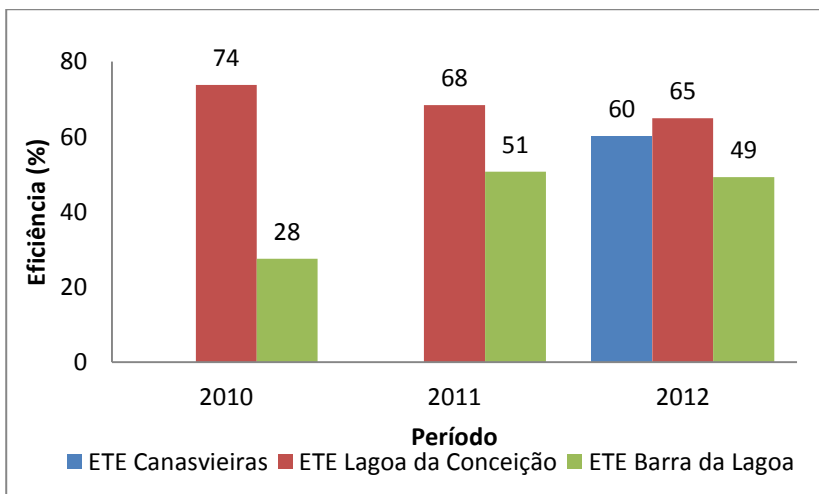


Figura 14: Eficiência média de remoção da DQO nos reatores UASB das ETEs analisadas.

No caso do UASB da ETE Canasvieiras apenas 16 dados do ano de 2012 estavam disponíveis. Referente aos valores de DQO afluente, a carga máxima ocorreu durante o mês de março e a mínima no mês de agosto. Isto pode estar relacionado à presença da população sazonal que sobrecarrega a região litorânea da grande Florianópolis nos meses de verão.

Para a ETE Lagoa da Conceição foram disponibilizadas as informações referentes à operação do reator UASB dos anos de 2010, 2011 e 2012, ao todo 47 dados foram analisados. Assim como o ocorrido na ETE Canasvieiras, nessa unidade de tratamento a máxima carga orgânica afluente do ano de 2012 foi obtida no mês de março. No ano de 2010 a maior carga afluente também ocorreu durante a temporada de verão, especificamente no mês de janeiro. Diferente do que ocorreu no ano de 2011, no qual a maior carga de DQO afluente ocorreu no mês de novembro.

No caso da ETE Barra da Lagoa, embora o período de dados fornecidos tenha sido de três anos, de 2010 a 2012, muitos estavam incompletos e outros tiveram de ser desconsiderados por não apresentarem valores regulares de concentração. Dessa forma, ao todo foram analisados apenas 22 dados de operação do reator UASB, sendo que para alguns meses não há resultado.

Na ETE Barra da Lagoa os picos de carga afluyente no reator anaeróbio ocorreram no mês de agosto em 2012, novembro em 2011 e julho em 2010, períodos em que a população na região litorânea tende a ser menor. No entanto, como para esta unidade a série de dados estava defasada (Vide ANEXO I), é possível que estes resultados não expressem a realidade do sistema.

Com relação às eficiências de remoção da DQO, o reator UASB da ETE Canasvieiras apresentou média de 60%, o reator da ETE Lagoa da Conceição média de 69% e o reator da ETE Barra da Lagoa média de 44%. Estes valores correspondem à faixa média de 40% a 80%, eficiências observadas por Chernicharo (2007) em sistemas UASB.

Considerando toda a série de dados, percebe-se nas unidades escolhidas para estudo que a eficiência de conversão da DQO é pouco sensível as alterações de temperatura e carga orgânica afluyente. Em Canasvieiras (2012), por exemplo, os meses de março e setembro obtiveram eficiências próximas, 81% e 76%. No entanto, diferem quanto a concentração de DQO afluyente, respectivamente de 533 mg/L e 286 mg/L, e temperatura ambiente.

A Figura 15 exhibe a produção teórica média de biogás em cada reator das respectivas estações de tratamento de esgoto. A Figura 16 demonstra esta mesma produção considerando a quantidade de DQO removida para que houvesse a geração do biogás.

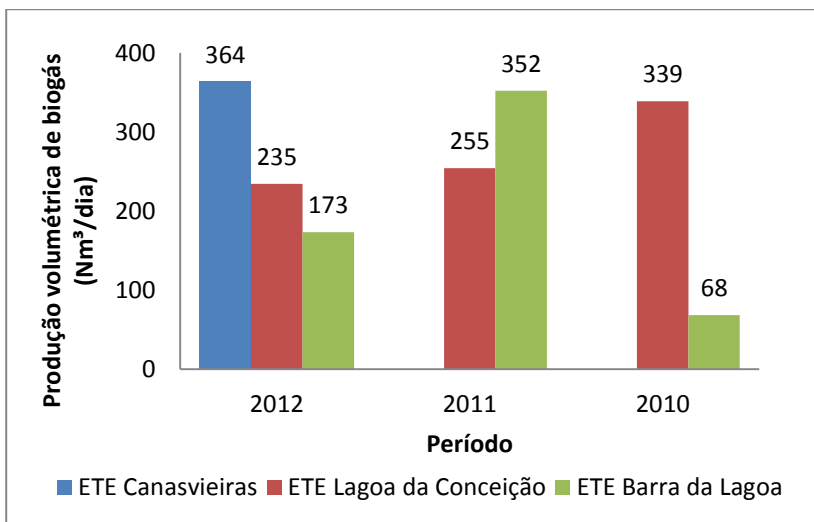


Figura 15: Produção volumétrica teórica de biogás nos reatores UASB das ETEs avaliadas.

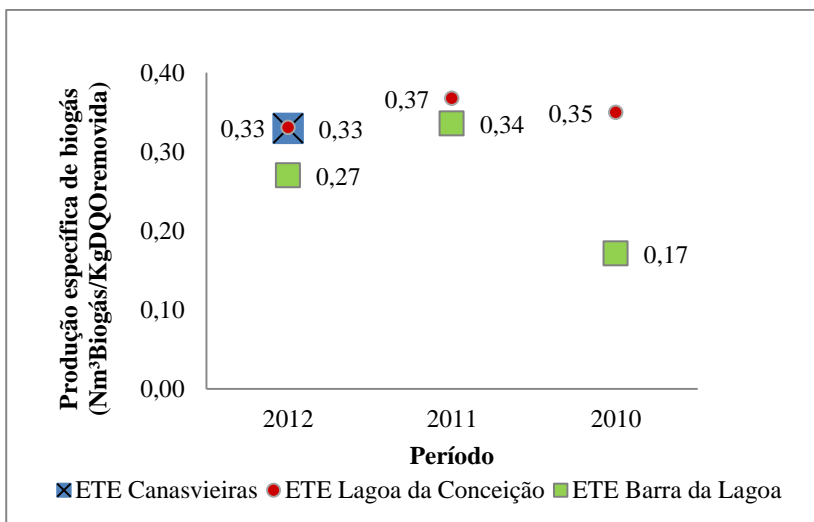


Figura 16: Produção específica de biogás nos reatores UASB das ETEs avaliadas.

Van Haandel (1994) afirma que a principal vantagem do processo anaeróbio de tratamento é que a degradação da matéria orgânica tem como produto a geração de biogás. Sendo assim, a análise da eficiência

de degradação da matéria orgânica é extremamente relevante para que se possa compreender o potencial do sistema anaeróbio. Além disso, segundo Chernicharo (2007), o volume de biogás produzido depende da carga orgânica afluenta. Isto, pois é a decomposição da matéria orgânica que conduz a formação de metano e gás carbônico.

Dessa forma, analisando concomitantemente os dados de eficiência de conversão da DQO em metano e as concentrações orgânicas de entrada, é possível interpretar os resultados de produção volumétrica de biogás.

A Tabela 12 possibilita uma visão global dos resultados que foram discutidos até então.

Tabela 12: Síntese dos resultados de produção teórica de biogás.

UASB	Qmédia (m³/dia)	DQOaf (mg/L)	Eficiência (%)	Biogás (Nm³/dia)	Taxa GB*
Lagoa da Conceição	2.073	507	69	276	133
Barra da Lagoa	2.894	452	44	198	68
Canasvieiras	6.307	246	60	364	58

*Taxa média de geração de biogás (Nm³ biogás/1000 m³ esgoto tratado).

Apesar de em termos de volume a produção teórica de biogás em Canasvieiras ter sido mais representativa (276 Nm³/dia), o sistema anaeróbio da Lagoa da Conceição mostrou-se mais eficiente quanto à degradação da matéria orgânica (69%), portanto obteve uma taxa média de geração de biogás superior (133 m³_{biogás}/1000m³_{esgototratado}). Por outro lado, ainda que a eficiência de tratamento do reator UASB tenha sido menor na Barra da Lagoa (44%), a concentração da DQO média afluenta foi superior (452 mg/L), disponibilizando maior concentração orgânica para as bactérias metanogênicas, contribuindo para que taxa de produção de biogás fosse mais elevada que a do reator da ETE Canasvieiras (Tabela 12).

Outra questão que pode vir a influenciar negativamente os resultados, principalmente relativos à eficiência, é o início da operação do reator UASB. Em Canasvieiras, o reator é mais recente, iniciou suas atividades em 2011, portanto os dados analisados são referentes ao início da operação do reator, durante ou logo após a partida do sistema, período em que ocorre a seleção biológica e a adaptação da biomassa ao sistema.

Resultados similares aos encontrados para o reator da ETE Lagoa da Conceição (146 m³_{biogás}/1000m³_{esgototratado}), com relação ao volume de

biogás produzido, foram encontrados por Lima (2005) em sua avaliação do potencial de produção de biogás na ETE Santana ($148 \text{ m}^3_{\text{biogás}}/1000\text{m}^3_{\text{esgototratado}}$), e ETE Ipatinga ($205 \text{ m}^3_{\text{biogás}}/1000\text{m}^3_{\text{esgoto tratado}}$). Da mesma forma, Santos (2009) avaliou o potencial teórico de produção da ETE Madre de Deus obtendo a taxa de produção de 117 m^3 de biogás para cada 1000 m^3 de esgoto tratado. Todos estes resultados foram atribuídos a unidades operando com reatores anaeróbios tipo UASB. Portanto, os resultados encontrados neste trabalho estão de acordo com os relatos da bibliografia especializada.

5.3. POTÊNCIA ENERGÉTICA

A partir da vazão teórica de biogás calculada para cada reator, utilizando o poder calorífico do biogás ($6420,6 \text{ Kcal/Nm}^3$), foi estimado o potencial elétrico para cada unidade considerando a tecnologia de microturbinas. Os valores médios para o período analisado estão apresentados na Tabela 13 e na Figura 17. No Apêndice A é possível verificar a totalidade dos resultados.

Tabela 13: Potencial elétrico médio dos reatores UASB avaliados.

UASB	Q biogás (Nm^3/dia)			Potência Elétrica (kW)		
	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.
Canasvieiras	363,8	1018,4	28,9	34,0	95,1	2,7
Barra da Lagoa	198,0	1064,5	0,4	18,5	48,0	3,8
Lagoa da Conceição	276,1	748,2	12,3	25,8	56,2	1,1

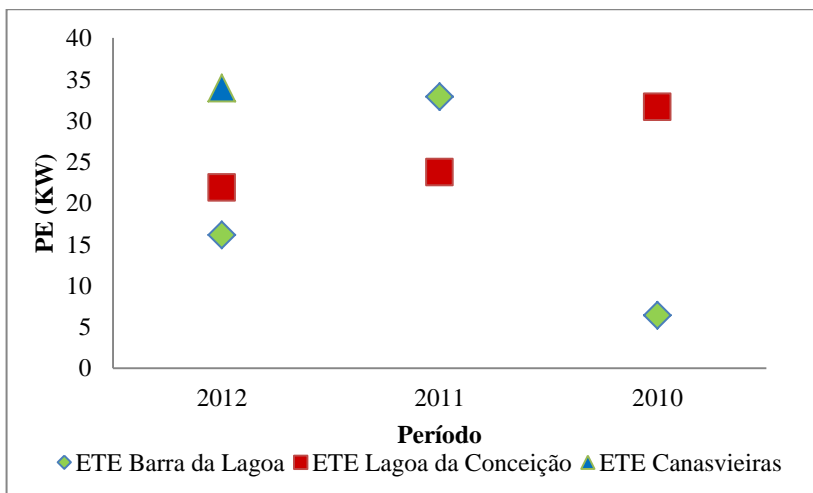


Figura 17: Variação do potencial elétrico dos reatores UASB por período.

Analisando os resultados da Tabela 13, observa-se que o UASB da ETE Canasvieiras tem o maior potencial elétrico médio (34,0 kW).

A potência energética de cada reator é diretamente proporcional ao volume de biogás gerado por este, conforme previamente descrito na Equação 7. Dessa forma, sabendo que o UASB da ETE Canasvieiras apresentou a maior vazão de biogás diária (364,8 Nm³/dia) dentre as três unidades avaliadas, a maior produção de energia para esta já era esperada.

O reator UASB da ETE Canasvieiras apresentou a menor taxa de geração de biogás por volume de efluente tratado (58 m³ de biogás para cada 1000 m³ de esgoto tratado), o que indica que o potencial da carga orgânica afluente ainda pode ser explorado. Uma das ações que podem ser feitas para trazer melhores resultados em termos de geração de energia é buscar diminuir as interferências no sistema, por exemplo, a redução da diluição do esgoto afluente à ETE visto que a DQO afluente média apresentou a menor concentração medida.

É possível perceber o potencial da unidade Canasvieiras quando se compara a outros trabalhos da literatura. Santos (2009) relatou que o potencial elétrico gerado por 461 m³/dia de biogás na ETE de Madre de Deus (3.954 m³/dia de esgoto tratado) equivale a aproximadamente 37 kW. A ETE Canasvieiras obteve um resultado similar se considerado o potencial elétrico (34 kW), porém a vazão afluente é quase o dobro (6.307 m³/dia) na ETE Canasvieiras.

Logo, o potencial de geração de biogás teoricamente produzido nos três reatores avaliados da cidade de Florianópolis, igual a 837,8 Nm³/dia, equivale a uma capacidade instalada média de 78,2 kW.

Baseado na população atualmente atendida com esgotamento sanitário nas três localidades analisadas, conclui-se que o potencial elétrico médio gerado por habitante é de 2,57 W.

5.4. POSSÍVEIS CENÁRIOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

A população de Florianópolis segundo dados do IBGE (BRASIL, 2010a) é estimada em 421.240 habitantes. Considerando que a taxa média de geração de biogás das estações de tratamento de esgoto de Florianópolis avaliadas neste trabalho foi de 86 m³ para cada 1000 m³ de esgoto tratado, e que cada habitante gera em média 0,36 m³ de esgoto por dia (cálculo feito com base nos dados das três ETE avaliadas), é possível estimar a quantidade de esgoto, e consequente potencial de produção de biogás, da cidade de Florianópolis.

Sendo assim, se todo o esgoto produzido pela população de Florianópolis fosse tratado via processo de digestão anaeróbia, nas mesmas condições atuais, seriam gerados 12.927,4 Nm³/dia de biogás, correspondente a uma potência instalada de 1,2 MW.

Campanário (2007) estima que em 2028 a população de Florianópolis sofra um aumento próximo de 70%. Considerando esta estimativa, e supondo que o crescimento seja homogêneo, o potencial de produção de biogás da cidade de Florianópolis será de 22.569 Nm³/dia, resultando em uma capacidade instalada de 2,1 MW.

A taxa de geração de esgoto calculada para este trabalho demonstrou-se bem acima daquela apresentada pela literatura, provavelmente pela contribuição da carga orgânica da ETE Canasvieiras que conforme visto nesse trabalho apresentou baixa concentração no período avaliado.

Sendo assim, estimando a produção de biogás utilizando o coeficiente de produção de esgoto relatado em literatura, 0,16 m³ de esgoto por dia por habitante (SABESP, apud COSTA, 2006), a população atual de Florianópolis seria capaz de gerar 5824 Nm³/dia de biogás, o que equivaleria a uma potência instalada de 596 kW. Nessas mesmas condições, a população estimada para 2028 geraria 10.167 Nm³/dia de biogás, ou 1,04 MW de potência instalada.

A simulação de cenários como este tem o intuito de incentivar os prestadores de serviço a investir em tecnologias de tratamento com

processos de digestão anaeróbia, especialmente com reatores UASB, em razão das vantagens do sistema e também alta eficiência.

Vale ressaltar que esses valores são teóricos e tem como base informações de um período limitado. Além disso, devido à virtude do tratamento biológico estas estimativas estão sujeitas à variação.

5.5. BALANÇO ENERGÉTICO

5.5.1. Energia Necessária ao Funcionamento da ETE

O consumo de energia elétrica das estações de tratamento de esgotos da CASAN avaliadas neste trabalho foi levantado por meio do controle de despesas da empresa, referente ao período de abril de 2012 a março de 2013 (ANEXO II).

A ETE Canasvieiras tem a maior demanda mensal de energia, 73.375 kWh, aumentando o seu consumo nos meses de verão quando é mais exigida. Em média, as unidades aqui consideradas despendem 0,30 R\$/kWh, resultando em um gasto médio mensal com energia elétrica de R\$ 21.977,00 para a ETE Canasvieiras, R\$ 17.655,00 para a ETE Lagoa da Conceição e R\$ 17.006,00 para a ETE Barra da Lagoa.

Como já foi visto, a energia elétrica potencialmente disponibilizada pelas três unidades anaeróbias de tratamento avaliadas é de 78,2 kW, ou seja, 56.306 kWh/mês.

A Tabela 14 exhibe o resumo dos resultados específicos para cada uma das três estações de tratamento de esgoto.

Tabela 14: Balanço energético das ETEs analisadas.

ETE	Consumo (kWh/mês)	Custo Energia (R\$/kWh)	Energia gerada (kWh/mês)	Economia (R\$/mês)
Canasvieiras	73.375	0,30	24.447	R\$ 7.322,49
Lagoa da Conceição	56.758	0,31	13.307	R\$ 4.139,22
Barra da Lagoa	55.244	0,31	18.552	R\$ 5.710,94

Portanto, utilizando a energia produzida pelos reatores seria possível obter uma economia para a CASAN de aproximadamente 30%, ou seja, R\$ 17.000,00 reais por mês.

5.5.2. Utilização da Energia Gerada

A energia gerada pelo sistema anaeróbio de tratamento pode ser aplicada para diferentes fins, desde a manutenção do sistema, buscando a autossuficiência, a outros usos externos.

Segundo Lobato (2011) alguns possíveis usos para o biogás gerado são: o uso direto como combustível em caldeiras, fornos e estufas em substituição aos outros tipos de combustíveis; a geração de eletricidade para uso local ou venda para a rede da concessionária de energia; a co-geração de eletricidade e calor e ainda como combustível alternativo visando à injeção na linha de gás natural ou o aproveitamento como combustível veicular.

Os requisitos de energia das ETEs estão principalmente na operação do sistema, ao que diz respeito ao funcionamento dos equipamentos elétricos, bombeamento, aeração, transporte do lodo para recirculação e destinação final, mas principalmente no bombeamento das elevatórias de chegada. Sendo assim, a energia gerada poderia ser aplicada para a manutenção de uma parcela desses equipamentos (LIMA, 2005).

Além da venda direta à concessionária de energia, também é possível reverter a energia gerada em crédito na fatura de pagamento. A Resolução Normativa nº 482/12, expedida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), regulamenta este processo incentivando a micro e mini produção de energia de fontes renováveis.

Outra aplicação para o biogás gerado em estações de tratamento de esgoto é utilizá-lo para a secagem e higienização do lodo (LOBATO, 2011). Esta alternativa em especial merece a atenção das concessionárias de saneamento, visto que em meados do ano de 2010, o Governo Federal estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, através da Lei 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto nº 7.404/10, que proíbe a disposição final do lodo de ETE em aterro sanitário a partir de agosto de 2014, por serem resíduos passíveis de reaproveitamento (SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, 2011).

Em média, os resultados encontrados demonstram que o potencial elétrico das unidades de tratamento poderiam disponibilizar aproximadamente 30% do consumo total das unidades. Dessa forma, é possível que a alimentação de energia do escritório e parte dos equipamentos elétricos, como as bombas que não funcionam em sistema contínuo, sejam alimentados pela energia gerada, garantindo a sustentabilidade do sistema.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir do estudo feito neste trabalho foi possível verificar alguns fatos referentes aos objetivos propostos. Estas conclusões estão detalhadas a seguir.

Medição de biogás *in situ*:

- As ETEs não apresentam estrutura para monitoramento da produção qualitativa e quantitativa do biogás;
- A coleta de dados em pontos não adequados para a avaliação culminou em resultados inconclusivos;
- As ETEs notadamente apresentaram problemas operacionais que prejudicaram a avaliação do biogás, como por exemplo, a formação de densa espuma na saída de gases do separador trifásico dos reatores UASB.

Estimativa do potencial de geração de biogás a partir da matéria orgânica afluyente às ETEs:

- A eficiência média de remoção da DQO apresentada pelos reatores UASB no período foi superior a 40%, o que ressalta elevada atividade biológica nessas unidades;
- A maior concentração de matéria orgânica afluyente e a alta eficiência de degradação da mesma foram fatores determinantes para o desempenho superior do UASB da ETE Barra da Lagoa ($0,068 \text{ m}^3_{\text{biogás}}/\text{m}^3_{\text{esgoto}}$) e do UASB da ETE Lagoa da Conceição ($0,133 \text{ m}^3_{\text{biogás}}/\text{m}^3_{\text{esgoto}}$), respectivamente;
- O reator UASB da ETE Canasvieiras apresentou a menor taxa de geração de biogás por volume de efluente tratado ($0,058 \text{ m}^3_{\text{biogás}}/\text{m}^3_{\text{esgoto}}$), o que indica que o potencial da carga orgânica afluyente ainda pode ser explorado.

Produção de energia elétrica a partir do biogás estimado nos reatores UASB das ETEs avaliadas:

- A maior potência energética foi atribuída ao UASB da ETE Canasvieiras (34 kW). Na configuração atual, apenas nesta unidade haveria possibilidade de adaptar o reator para fins de

geração de energia elétrica, visto que os menores grupos geradores presentes no mercado são de 30 kW;

- Os sistemas de tratamento não são autossuficientes. No entanto, a potencial economia de energia é bastante significativa, em torno de 30%, equivalente a aproximadamente R\$ 17.000,00 reais por mês;

Mesmo que teóricos, os cenários simulados neste trabalho tiveram o intuito de ilustrar o potencial de geração de biogás da cidade de Florianópolis, visando incentivar o uso desta tecnologia principalmente em futuras instalações.

Propõe-se que adaptações sejam feitas nos reatores avaliados a fim de possibilitar o acompanhamento dos parâmetros referentes à produção de biogás, incentivando assim a pesquisa e o desenvolvimento desta tecnologia.

Recomenda-se para trabalhos futuros a análise de uma série de dados mais completa, assim como uma frequência maior de medições a fim de estabelecer um desempenho mensal.

Este trabalho serviu como um estudo inicial do potencial energético dos efluentes líquidos de Florianópolis. Para avaliar a viabilidade econômica dos investimentos em sistemas de aproveitamento do biogás nas ETEs em operação é preciso realizar um estudo mais aprofundado.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVES, J. W. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. 142 p. Dissertação de Mestrado- Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

APPELS, L.; BAEYENS, J.; DEGRE'VE, J.; DEWIL, R., **Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge**. Progress in Energy and Combustion Science, Belgium vol. 34, pp. 755-781, 2008.

AVELLAR, L. H. N.; COELHO, S. T.; ALVES, J. W. **Geração de Eletricidade com Biogás de Esgoto: Uma Realidade**. Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento, Ano V, n. 29, p. 120-122, Nov/Dez 2002.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **P&D Estratégico**, 26 de julho de 2012. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5861&id_area=90. Acesso em 16 Dez 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução n. 482 de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico. 2010 (a)**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 16 Dez 2012.

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010 (b)**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

BRASIL. Ministério das Cidades, Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - SNIS. **DIAGNÓSTICO DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTOS – 2010 (c)**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRerterterTERTer=95>. Acesso em: 16 de Dez de 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, **Balanco Energético Nacional (BEN)**. 154 p., Brasília, 2008.

CAMPANÁRIO, P. Florianópolis: **Dinâmica Demográfica e Projeção da População por Sexo, Grupos Etários, Distritos e Bairros (1950-2050)**, Planejamento Urbano de Florianópolis - IPUF, Subsídio Plano Diretor Participativo do município, Florianópolis, 2007.

CAMPOS, J. R. (COORD.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro : ABES, 1999. 464 p.: il. Projeto PROSAB.

CASSINI, S. T. (COORD.). **Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, 2003.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios** (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5). 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p.

COELHO, S.T. et al. **A conversão da fonte renovável biogás em energia**. In: V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (CBPE), 31 de maio a 02 de junho de 2006, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/projetos/8_energ-biog.pdf>. Acesso em: 30 Set 2012.

COLDEBELLA, A. et al. **Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suíno cultura**. Informe Gepec – Vol. 12, nº 2, p.45-55/ Jul./Dez. 2008.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 194 p. Dissertação (Mestrado em Energia). Programa de Interunidades de Pós-graduação em Energia – PIPGE (EP/FEA/IEE/IF), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.

DOMINGUES, E.G. et al. **Avaliação do Potencial de Geração de Energia Elétrica e dos Créditos de Carbono a partir do Aproveitamento Energético do Biogás Produzido em Estações de Tratamento de Esgoto** – Estudo de Caso, 2010.

FLORIANÓPOLIS. Secretaria Municipal de Habitação e Saneamento Ambiental - SMHSA. **Versão preliminar do PMISB (9): Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do município de Florianópolis**, 2010.

GARCIA, D.F.H. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Mercado de Energia**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós - Graduação em Engenharia Elétrica – Florianópolis, 2006.

GERARDI, M. H. **The Microbiology of Anaerobic Digesters**, 1ª ed., Wiley-Interscience (2003).

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2013. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em 10 de maio de 2013.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 6 ed., Rio de Janeiro, 2011.

LIMA, F.P. **Energia no tratamento de esgoto: Análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás**. 139p. Dissertação de mestrado- Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia- USP. São Paulo, 2005.

LOBATO, L.C. S. **Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico** – Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. 2011.

MARTINS, D.S.; ASSIS, E.G.. **Estudo de viabilidade econômica da implantação de um biodigestor em uma Granja de perus**. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 27, 2007, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos..., 2007. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR590444_9790.pdf>. Acesso em: 29 Set. 2012.

METCALF & EDDY, **Wastewater Engineering**, Treatment and Reuse, 4th Edition, McGraw-Hill, 2003.

MINAS GERAIS (Estado). Companhia de Saneamento Básico de Minas Gerais (COPASA). Esgotos. **ETE ARRUDAS**. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=470&sid=31&tpl=printerview>. Acesso em: 15 Dez 2012.

MONTE, M. M. Do. **Contributo para o Estudo da Valorização Energética de Biogás em Estações de Tratamento de Águas Residuais**. 2010. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2010. Disponível em: <www.scielo.org>. Acesso em 26 Nov. 2012.

PECORA, V. et al. **Aproveitamento do biogás proveniente dos resíduos sólidos urbanos para geração de energia elétrica: Estudo de caso em São Paulo**. In: IV Congresso Internacional de Bioenergia, 18 a 21 de agosto de 2009, Curitiba, PR, Brasil. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/congbioen_pecora.pdf>. Acesso em: 30 Set. 2012.

PIRES, A. F. F. E. (2009). **Contribuição para o Estudo de Avaliação do Desempenho de um Sistema de Estabilização Anaeróbia e Utilização do Gás Produzido**. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

SANTA CATARINA. Companhia Catarinense de águas e saneamento (CASAN), **Síntese de Informações Operacionais dos Sistemas de Tratamento de Esgotos**: Relatório de Monitoramento do Laboratório de Análises Físico-químicas e Hidrobiológicas. Jan/2010 Dez/2012. Agência de Florianópolis (SEOP/Esgoto), 2013.

SANTA CATARINA. Lei Complementar Estadual Nº 495, 26 de Janeiro de 2010. **Institui as Regiões Metropolitanas de Florianópolis, do Vale do Itajaí, do Norte/Nordeste Catarinense, da Foz do Rio Itajaí, Carbonífera e de Tubarão**.

SANTOS, S.N. **Geração de Energia Elétrica a partir do biogás produzido na estação de tratamento de Esgotos de Madre de Deus-**

Bahia, Dissertação de Mestrado. Mestrado Profissional em tecnologias aplicáveis à Bioenergia da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Salvador, FTC. 2009.

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO. Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto - Município de São José do Rio Preto (SEMAE). **Estudo técnico de viabilidade: Cogeração de energia a partir de biogás e do lodo proveniente de reatores anaeróbios da ETE Rio Preto**. São José do Rio Preto, 2011.

SÃO PAULO (Estado). Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP), **Síntese de Informações Operacionais dos Sistemas de Tratamento de Esgotos da RMSP**. Outubro /00 Setembro/01. Unidade de Negócio de Tratamento de Esgotos, 2001.

USEPA. **A Brief Characterization of Gas Turbines in Combined Heat and Power Applications**. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. 2003a.

USEPA. **A Brief Characterization of Reciprocating Engines in Combined Heat and Power Applications**. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. 2003b.

USEPA. **Opportunities for Combined Heat and Power at Wastewater Treatment Facilities: Market Analysis and Lessons from the Field. Combined Heat and Power Partnership**. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. 2011.

VAN HAANDEL, A. C. **Influence of the digested COD concentration on the alkalinity requirement in anaerobic digesters**. Water Science Technology nº 30, 1994. p. 23-24.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente**, Epgraf, Campina Grande, 240 p., 1994.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2005. 425 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.1).

ZANETTE, A.L. Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil, Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE. 2009.

ANEXO I – DADOS CASAN.

ETE LAGOA DA CONCEIÇÃO - Relatório de Monitoramento do Laboratório de Análises Físico-químicas e Hidrobiológicas.								
2012			2011			2010		
Data	Afluente DQO (mg/L)	Efluente DQO (mg/L)	Data	Afluente DQO (mg/L)	Efluente DQO (mg/L)	Data	Afluente DQO (mg/L)	Efluente DQO (mg/L)
12/jan	442	316	10/jan	873	873	04/jan	1055	110
19/jan	596	322	24/jan	326	68	01/fev	785	114,1
09/fev	539	172	08/fev	337	105	25/fev	540	80,4
05/mar	650	105	03/mar	457	190	25/mar	343	N/D
28/mar	960	98	31/mar	330	82	15/abr	716	1259
12/abr	565	330	27/abr	663	156	17/mai	404	159
09/mai	386	146	05/mai	625	148	21/jun	348	99
23/mai	317	123	25/mai	-	N/D	07/jul	614	N/D
06/jun	401	123	07/jun	576	N/D	14/jul	742	99
04/jul	432	104	20/jun	606	192	21/jul	528	N/D
24/jul	721	174	05/jul	444	151	28/jul	537	N/D
06/ago	269	92	18/jul	319	225	11/ago	532	104
21/ago	514	206	02/ago	218	51	25/ago	734	N/D
03/set	537	199	11/ago	368	41	27/set	167	129
28/set	585	100	17/ago	497	127	27/out	551	N/D
08/out	603	1650	19/ago	594	N/D	24/nov	497	100
01/nov	246	120	13/set	381	128	06/dez	376	N/D
23/nov	364	97	28/set	529	240	27/dez	409	97
28/nov	1447	N/D	06/out	556	229	-	-	-
13/dez	489	123	24/out	693	203	-	-	-
28/dez	398	160	07/nov	572	1500	-	-	-
-	-	-	23/nov	704	221	-	-	-
-	-	-	13/dez	569	148	-	-	-
-	-	-	26/dez	684	N/D	-	-	-

*Dados não considerados para este trabalho.

FONTE: SANTA CATARINA, 2013.

ETE CANASVIEIRAS - Relatório de Monitoramento do Laboratório de Análises Físico-químicas e Hidrobiológicas.

2012			2011			2010		
Data	Afluentes	Efluentes	Data	Afluentes	Efluentes	Data	Afluentes	Efluentes
	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)		DQO (mg/L)	DQO (mg/L)		DQO (mg/L)	DQO (mg/L)
02/jan	149	21	-	-	-	-	-	-
03/jan	475	N/D	-	-	-	-	-	-
06/jan	446	N/D	-	-	-	-	-	-
11/jan	N/D	N/D	-	-	-	-	-	-
17/jan	366	356	-	-	-	-	-	-
19/jan	639	N/D	-	-	-	-	-	-
23/jan	713	N/D	-	-	-	-	-	-
27/jan	330	N/D	-	-	-	-	-	-
01/fev	N/D	N/D	-	-	-	-	-	-
07/fev	1075	N/D	-	-	-	-	-	-
28/fev	473	175	-	-	-	-	-	-
06/mar	783	N/D	-	-	-	-	-	-
19/mar	533	101	-	-	-	-	-	-
10/abr	270	N/D	-	-	-	-	-	-
24/abr	140	109	-	-	-	-	-	-
07/mai	147	69	-	-	-	-	-	-
21/mai	167	91	-	-	-	-	-	-
13/jun	374	74	-	-	-	-	-	-
26/jun	135	78	-	-	-	-	-	-
30/jul	102	N/D	-	-	-	-	-	-
16/ago	146	N/D	-	-	-	-	-	-
30/ago	99	63	-	-	-	-	-	-
17/set	286	69	-	-	-	-	-	-
27/set	199	92	-	-	-	-	-	-
18/out	279	91	-	-	-	-	-	-
08/nov	406	64	-	-	-	-	-	-
21/nov	170	61	-	-	-	-	-	-
10/dez	175	79	-	-	-	-	-	-
27/dez	201	94	-	-	-	-	-	-

*Dados não considerados para este trabalho.

FONTE: SANTA CATARINA, 2013.

ETE BARRA DA LAGOA - Relatório de Monitoramento do Laboratório de Análises Físico-químicas e Hidrobiológicas.

2012			2011			2010		
Data	Afluentes	Efluentes	Data	Afluentes	Efluentes	Data	Afluentes	Efluentes
	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)		DQO (mg/L)	DQO (mg/L)		DQO (mg/L)	DQO (mg/L)
16/jan	306	294	13/jan	958	431	18/jan	233	269
25/jan	561	590	22/fev	362	161	18/fev	345	276
13/fev	299	63	28/mar	469	213	16/mar	490	1270
27/fev	401	1031	11/mai	366	225	19/abr	380	304
13/mar	439	191	04/jul	172	150	10/mai	184	298
27/mar	226	280	25/ago	67	100	14/jun	198	168
17/abr	372	252	12/set	114	128	01/jul	456	456
08/mai	285	178	29/set	416	506	26/jul	513	268
31/mai	267	96	19/out	226	438	12/ago	313	201
11/jun	119	166	31/out	325	231	08/nov	388	262
25/jun	330	649	18/nov	266	249	13/dez	404	N/D
16/jul	378	376	28/nov	1252	318	30/dez	375	295
13/ago	451	311	19/dez	414	216	-	-	-
27/ago	688	195	29/dez	N/D	142	-	-	-
13/set	160	DESATIVADO	-	-	-	-	-	-
25/set	338	DESATIVADO	-	-	-	-	-	-
15/out	371	DESATIVADO	-	-	-	-	-	-
09/nov	298	N/D	-	-	-	-	-	-
03/dez	448	348	-	-	-	-	-	-
18/dez	453	N/D	-	-	-	-	-	-

*Dados não considerados para este trabalho.

FONTE: SANTA CATARINA, 2013.

ANEXO II – CONSUMO DE ENERGIA ANO DE 2012.

	ETE CANASVIEIRAS		ETE LAGOA DA CONCEIÇÃO		ETE BARRA DA LAGOA	
Faturamento	Consumo Total (kWh)	Total Fatura	Consumo Total (kWh)	Total Fatura	Consumo Total (kWh)	Total Fatura
4/2012	60156	R\$ 21.632,22	53259	R\$ 16.987,04	50522	R\$ 16.147,25
5/2012	60696	R\$ 22.251,42	64974	R\$ 19.596,83	52459	R\$ 16.597,18
6/2012	56255	R\$ 20.980,50	55995	R\$ 17.202,58	51875	R\$ 16.138,27
7/2012	61520	R\$ 22.507,68	58240	R\$ 17.956,19	59593	R\$ 18.818,94
8/2012	64733	R\$ 22.777,44	56118	R\$ 17.383,08	58824	R\$ 17.686,47
9/2012	64544	R\$ 21.236,82	52121	R\$ 17.507,18	52459	R\$ 17.229,48
10/2012	59940	R\$ 20.927,64	49107	R\$ 16.911,77	52828	R\$ 17.484,86
11/2012	50585	R\$ 19.115,16	44187	R\$ 15.196,62	53443	R\$ 17.234,96
12/2012	53514	R\$ 19.278,48	44966	R\$ 15.456,76	51783	R\$ 16.912,07
1/2013	117531	R\$ 27.005,76	66522	R\$ 20.507,27	68469	R\$ 20.557,10
2/2013	114116	R\$ 24.347,94	73855	R\$ 20.965,17	60725	R\$ 16.543,99
3/2013	116910	R\$ 21.668,28	61752	R\$ 16.184,22	49946	R\$ 12.723,02
Média	73375	21977	56758	17655	55244	17006

FONTE: SANTA CATARINA, 2013.

APÊNCIDE A – RESULTADOS PRODUÇÃO DE BIOGÁS E POTENCIAL ELÉTRICO.

	ETE Barra da Lagoa				ETE Lagoa da Conceição				ETE Canasvieiras			
ANO	Data	E%	Qbiogás (Nm³/dia)	PE (kW)	Data	E%	Qbiogás (Nm³/dia)	PE (kW)	Data	E%	Qbiogás (Nm³/dia)	PE (kW)
2012	13/02/2013	78,93	234,81	21,92	12/01/2013	28,51	54,41	5,08	02/01/2013	85,91	305,62	28,53
	13/03/2013	56,49	223,76	20,89	19/01/2013	45,97	168,25	15,70	28/02/2013	63,00	656,80	61,31
	17/04/2013	32,26	78,87	7,36	09/02/2013	68,09	260,80	24,34	19/03/2013	81,05	1018,39	95,06
	08/05/2013	37,54	78,93	7,37	05/03/2013	83,85	407,86	38,07	24/04/2013	22,14	28,93	2,70
	31/05/2013	64,04	160,86	15,01	28/03/2013	89,79	654,40	61,08	07/05/2013	53,06	161,85	15,11
	13/08/2013	31,04	88,88	8,30	12/04/2013	41,59	136,94	12,78	21/05/2013	45,51	147,39	13,76
	27/08/2013	71,66	478,84	44,69	09/05/2013	62,18	165,97	15,49	13/06/2013	80,21	705,54	65,86
	03/12/2013	22,32	40,29	3,76	23/05/2013	61,20	133,48	12,46	26/06/2013	42,22	106,31	9,92
					06/06/2013	69,33	198,55	18,53	30/08/2013	36,36	61,18	5,71
					04/07/2013	75,93	239,88	22,39	17/09/2013	75,87	503,63	47,01
					24/07/2013	75,87	399,98	37,33	27/09/2013	53,77	223,18	20,83
					06/08/2013	65,80	124,55	11,62	18/10/2013	67,38	422,78	39,46
					21/08/2013	59,92	210,45	19,64	08/11/2013	84,24	813,15	75,90
					03/09/2013	62,94	234,64	21,90	21/11/2013	64,12	241,55	22,55
					28/09/2013	82,91	362,06	33,79	10/12/2013	54,86	201,77	18,83
					01/11/2013	51,22	81,21	7,58	27/12/2013	53,23	222,31	20,75
					23/11/2013	73,35	193,58	18,07				
					13/12/2013	74,85	266,73	24,90				
					28/12/2013	59,80	162,51	15,17				
	Média	49,29	173,15	16,16	-	64,90	234,54	21,89	-	60,18	363,77	33,95
2011	13/01/2013	55,01	546,80	51,04	24/01/2013	79,29	207,64	19,38				
	22/02/2013	55,52	209,28	19,53	08/02/2013	68,84	179,76	16,78				
	28/03/2013	54,58	264,84	24,72	03/03/2013	58,42	196,60	18,35				
	11/05/2013	38,52	122,83	11,46	31/03/2013	75,15	196,65	18,36				
	31/10/2013	28,92	64,55	6,03	27/04/2013	76,47	403,75	37,69				
	28/11/2013	74,60	1064,50	99,36	05/05/2013	76,32	379,67	35,44				
	19/12/2013	47,83	193,87	18,10	20/06/2013	68,32	320,09	29,88				

	ETE Barra da Lagoa				ETE Lagoa da Conceição				ETE Canasvieiras			
					05/07/2013	65,99	224,29	20,93				
					18/07/2013	29,47	45,72	4,27				
					02/08/2013	76,61	133,05	12,42				
					11/08/2013	88,86	269,26	25,13				
					17/08/2013	74,45	292,69	27,32				
					13/09/2013	66,40	194,02	18,11				
					28/09/2013	54,63	207,69	19,39				
					06/10/2013	58,81	241,33	22,53				
					24/10/2013	70,71	382,45	35,70				
					23/11/2013	68,61	373,88	34,90				
					13/12/2013	73,99	332,52	31,04				
	Média	50,71	352,38	32,89	-	68,41	254,50	23,76				
2010	18/02/2013	20,00	22,90	2,14	04/01/2013	89,57	748,23	69,84				
	19/04/2013	20,00	25,22	2,35	01/02/2013	85,46	526,07	49,10				
	14/06/2013	15,15	0,40	0,04	25/02/2013	85,11	360,06	33,61				
	26/07/2013	47,76	223,09	20,82	17/05/2013	60,64	175,37	16,37				
	12/08/2013	35,78	86,35	8,06	21/06/2013	71,55	187,17	17,47				
	08/11/2013	32,47	90,00	8,40	14/07/2013	86,66	505,67	47,20				
	30/12/2013	21,33	31,53	2,94	11/08/2013	80,45	331,15	30,91				
					27/09/2013	22,75	12,32	1,15				
					24/11/2013	79,88	306,66	28,62				
					27/12/2013	76,28	238,38	22,25				
	Média	27,50	68,50	6,39	-	73,84	339,11	31,65				

Fonte: O autor.